

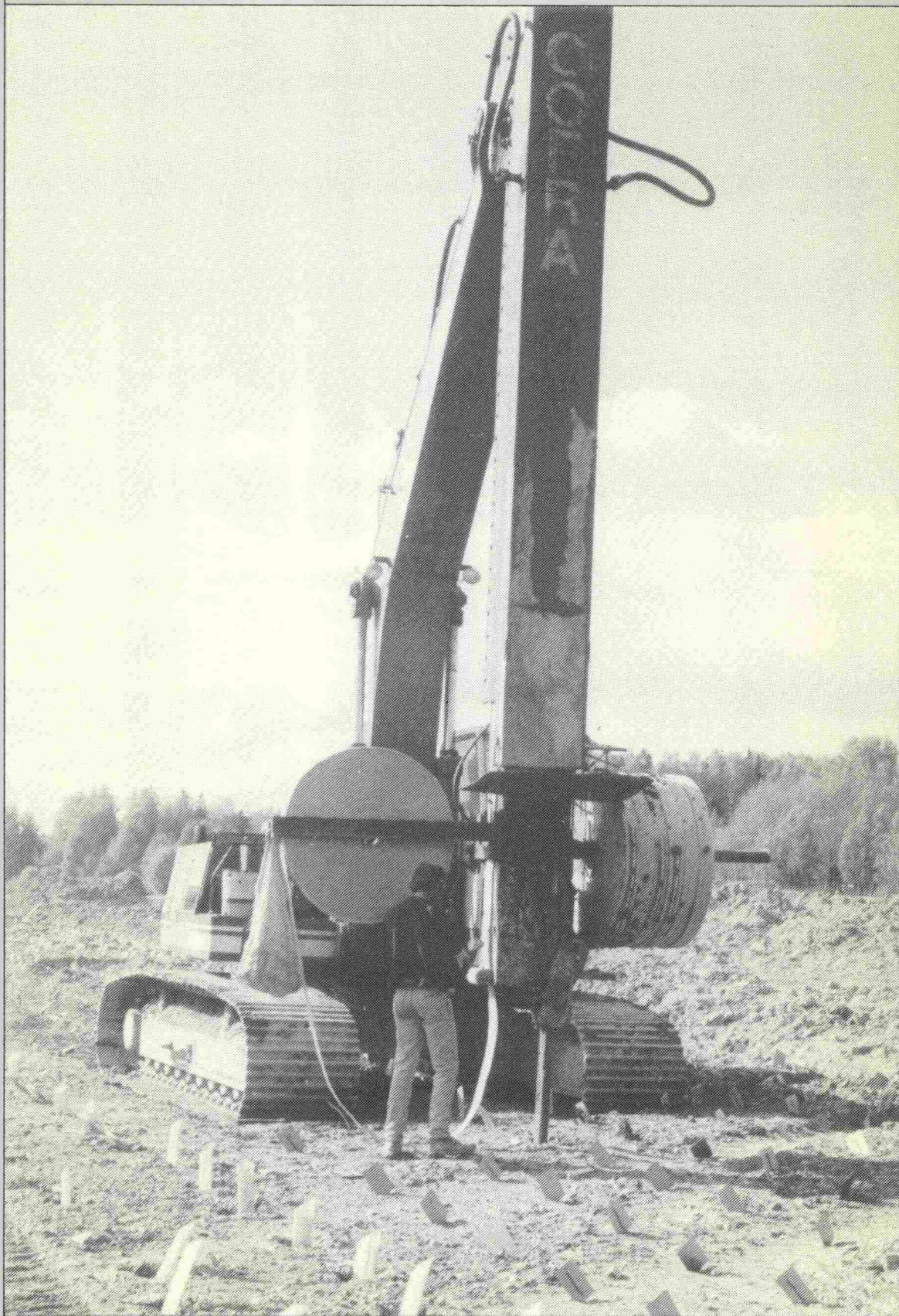


Tielaitos

Heikki Komulainen ja Hans Rathmayer

Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset

Laadunvalvonta ja testausmenetelmät



Tielaitoksen
selvityksiä

1/1992

Helsinki 1992

Tiehallitus
Geopalvelukeskus

Tielaitoksen selvityksiä
1/1992

Heikki Komulainen ja Hans Rathmayer

Pystyöjanauhojen laatuvaatimukset

Laadunvalvonta ja testausmenetelmät

Tielaitos
Tiehallitus, geopalvelukeskus

Helsinki 1992

TIEL 3200057
ISBN 951-47-5532-4
ISSN 0788-3722
Valtion painatuskeskus
Pasilan VALTIMO
Helsinki 1992

Julkaisua myy
Tiehallitus, painotuotevarasto

Tielaitos
Tiehallitus
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI

Asiasanat pystyöjanauhat, pystyöjitus, laatuvaatimukset, laadunvalvonta, testausmenetelmät

Tiivistelmä

Nauhapystyöjat ovat syrjäyttäneet hiekkapystyöjien käytön Suomessa 1970-luvulla, minkä jälkeen pystyöjitusmenetelmän käyttö tienrakennuskohteissa on laajentunut. Viime vuosina eri valmistajien pystyöjanauhojen tarjonta on Suomenkin markkinoilla lisääntynyt.

Pystyöjituksen tehokkuuden eli rakennuspohjan suunnitelman mukaisen konsolidoitumisen yhtenä tärkeänä edellytyksenä on pystyöjanauhojen koko painuma-ajan riittävän hyvinä säilyvät hydrauliset ominaisuudet. Tässä tutkimuksessa on selvitetty pystyöjanauhoille asetettavat ominaisuus- ja laatu-kriteerit ja ko. ominaisuuksien määrittäminen menetelmät sekä hankekohtaiseen laaduntarkkailuun soveltuva menettely.

Pystyöjanauhojen laatuvaatimukset koskevat suodattimen pitkäaikaista vedenläpäisevyyttä ja maa-aineksen pidätyskykyä sekä nauhan vedenjohtokykyä. Näiden laatuvaatimusten toteutumisiksi nauhan rakenteella ja materiaaleilla tulee olla riittävä mekaaninen lujuus. Lisäksi materiaaleilta vaaditaan käyttöiän (noin 2-3 v) huomioiden kemiallista pysyvyyttä.

Pystyöjanauhojen hydraulisille ja mekaanisille ominaisuuksille tässä ohjeessa asetettujen raja-arvojen toteutuminen laboratoriokokeissa osoittaa ojanauhan soveltuvaksi normaaleissa käyttöolosuhteissa. Ko. ominaisuudet määritetään ojanauhan tyyppitarkastuksen yhteydessä, joka tehdään ennen nauhan käyttöönottoa. Pystyöjitusurakan aikana ojanauhan laatua valvotaan rakennuttajan ja urakoitsijan toimesta silmämääräisen tarkkailun ja näytetutkimusten sekä ko. valmistuserää koskevan valmistajan sisäisen laadunvalvonnan tulosten avulla. Pystyöjituskohteesta otettujen näytteiden ominaisuuksien ja laadun tulee vastata tyyppitarkastettua tuotetta. Näytteet otetaan suojaputken läpi kulkeneesta ojanauhasta, jolloin varmistetaan ojituskoneen sopivuus käytettävälle ojanauhalle.

Viidelle pystyöjanauhavalmisteele tehtyjen tyyppitarkastusten tulokset on esitetty liitteissä 1 - 5. Tulokset osoittavat asetettujen vaatimusten toteutuvan lukuunottamatta kaikkien testattujen ojanauhojen suodattimen maa-aineksen pidätyskykyä suodatusteknisesti vaikeissa maalajeissa (keski- ja karkea siltti) sekä eräiden ojanauhojen suodattimen saumauksessa ilmennyttä laadunvaihtelua. Suodatusteknisesti vaikeissa maalajeissa, jotka ovat harvinaisia suomalaisissa pystyöjituskohteissa, tulisi tehdä suodattimen pitkäaikaista toimintaa simuloivia kokeita kohteesta otettuja edustavia maalajeja käyttäen.

Key words vertical strip drains, vertical drainage, qualifications, quality control, test methods

Abstract

Vertical strip drains have replaced the use of sand drains in Finland during the 1970's resulting in an expanding use of vertical drainage in road building. New types of drain strips have become available on the Finnish market in the last few years.

To provide effective consolidation of vertically drained soil layers e.g. in accordance with the calculated settlement rate, one of the main prerequisites is that the hydraulic properties of vertical strip drains remain sufficiently good over the entire time of consolidation. This research report deals with the requirements for the properties and quality of vertical drain strips, the corresponding testing methods and quality assurance procedure.

The qualification of vertical drain strips refers to the long-term permeability and soil retention potential of the filter as well as the discharge capacity of the drain. To fulfill these requirements the structure and materials of the vertical drain strip must have sufficient mechanical strength and chemical stability during the service life of 2-3 years.

Provided that the requirements for hydraulic and mechanical properties set in the present report are met in laboratory tests, the vertical drain strip can be considered applicable to normal installation and soil conditions. The properties of the drain strip in question are determined in classification tests before the product is released for use.

During the installation of vertical drains their quality is controlled by the builder and the contractor. Visual inspection and control measurements of drain strip samples as well as results of manufacturer's internal quality assurance are used as quality control methods. The quality must show a permanent similarity with the quality in classification tests. The samples shall be taken from the drain after passage through the mandrel. In that way the suitability of the machine for the drain strip installation is assured.

The classification test results of five types of vertical drain strips are presented in appendices 1-5. The results indicate that the quality requirements were fulfilled except the soil retention potential of the filter material of all the tested products in soil types sensitive to internal erosion (medium and coarse silts). In addition the quality of filter seam of some drain strips was not appropriate. In erosion susceptible soil types, which are rarely met at Finnish sites where vertical drainage is applied, filter tests simulating the long-term function of the drain should be performed. In those tests soils representing the site in question should be used.

Alkusanat

Raportin tarkoituksena on poistaa pystyajanauhojen laadunvalvontaan liittyvät puutteet. Testausmenetelmät on kehitetty, koska kansainvälisesti hyväksyttyä testausmenettelyä ei ole. Nauhojen laatuvaatimukset on asetettu kirjallisuustutkimuksen, kokeellisen tutkimustyön sekä sen yhteydessä tehtyjen pystyajanauhojen tyyppitarkastusten perusteella.

Pystyajanauhan laadunvalvonta sisältää kaksi päävaihetta. Nauhan tyyppitarkastuksessa tutkitaan täyttääkö nauha kaikilta osiltaan laatuvaatimukset. Hankekohtaisessa laadunvalvonnassa varmistetaan, että työmaalle toimitettu tuote on tyyppitarkastettu ja täyttää asetetut laatuvaatimukset jokaisen toimituserän osalta.

Raportin laatimiseen liittyvän tutkimustyön yhteydessä testattiin viiden Suomesta saatavan pystyajanauhan soveltuvuus tyypillisissä pehmeikkömaalojeissa. Kustakin testatusta ajanauhasta on laadittu erillinen raportti. Yhteenvedotulokset on esitetty tämän raportin liitteissä.

Tämän raportin ovat laatineet Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratoriossa tekn.yo. *Heikki Komulainen* ja dipl.ins. *Hans Rathmayer*. Tilaaajan puolelta työtä on valvonut dipl.ins. *Pentti Salo*.

Helsinki 11.2.1992

Tiehallitus
Geopalvelukeskus

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	9
2	SOVELTUVUUSTESTAUKSEN TARVE	11
3	NAUHAPYSTYOJIEN TOIMINTA, OMINAISUUDET JA LAATU- VAATIMUKSET	12
3.1	Lujuusominaisuudet	12
3.1.1	Yleinen laatuvaatimus	12
3.1.2	Pystyjanauhan rasitukset asennettaessa	12
3.1.3	Pystyjan käytönaikaiset rasitukset	12
3.1.4	Lujuusvaatimukset asennettaessa	13
3.1.5	Lujuusvaatimukset pitkäaikaisessa käytössä	14
3.2	Vedenjohtokyky	15
3.2.1	Yleinen laatuvaatimus	15
3.2.2	Ekvivalenttihalkaisija	15
3.2.3	Pitkäaikaiseen vedenjohtokykyyn vaikuttavat tekijät	15
3.2.4	Vedenjohtokyvylle asetettavat vaatimukset	16
3.3	Pystyjanauhan suodattimen toiminta	17
3.3.1	Yleisvaatimus	17
3.3.2	Geotekstiilisuodattimen luonne	17
3.3.3	Suodattimen toimintamekanismit	17
3.3.4	Suodattimen mekaaninen tehokkuus	18
3.3.5	Suodattimen hydraulinen tehokkuus	25
3.4	Pystyjan pitkäaikaisuusluotettavuus	27
3.4.1	Edellytykset	27
3.4.2	Pitkäaikaisuuslujuus	27
3.4.3	Kemiallinen kestävyys	29
4	PYSTYOJANAUHOJEN HYVÄKSYMISKRITEERIT	30
4.1	Lujuusominaisuuksien hyväksymiskriteerit	30
4.1.1	Ojanauhan vetolujuus	30
4.1.2	Nauhan kokoonpuristuvuus	31
4.1.3	Suodattimen lujuus	31
4.2	Vedenjohtokyvyn hyväksymiskriteeri	31
4.3	Suodattimen hyväksymiskriteerit	32
4.3.1	Mekaaninen tehokkuus	32
4.3.2	Vedenläpäisevyys	32
4.4	Yhteenveto	33
5	PYSTYOJANAUHOJEN LAADUNVALVONTAMENETTELY JA PYSTYOJITUSTYÖN VALVONTA	34
5.1	Tarkoitus	34
5.2	Materiaalin laadunvalvonta	34

5.2.1	Tyypitarkastus	34
5.2.2	Hankekohtainen, työnaikainen laadunvalvonta	34
5.3	Pystyöjituskoneelta vaadittavat ominaisuudet	36
5.4	Ojitustyön laadunvalvonta	37
5.4.1	Ankkurilevy ja sen kiinnitys	37
5.4.2	Ojanauhan jatkaminen	38
5.4.3	Pystyöjanauhan suojaputkelle asetettavat vaatimukset	38
5.4.4	Pystyöjituspöytäkirja	38
6	PYSTYÖJANAUHOJEN LABORATORIOKOKKEET TYYPPI-TARKASTUKSESSA	39
6.1	Pystyöjanauhan lujuus ja elastisuus	39
6.1.1	Tarkoitus	39
6.1.2	Käyttöalue	39
6.1.3	Viitteet	39
6.1.4	Määritelmät	39
6.1.5	Testauslaitteet	40
6.2	Pystyöjanauhan vetokokeen suoritus	41
6.2.1	Koekappaleet	41
6.2.2	Koeolosuhteet	41
6.2.3	Kokeen suoritus	41
6.2.4	Koetulosten arvostelu	42
6.2.5	Lujuuskokeiden raportointi	42
6.3	Kokoonpuristuvuuskokeet	43
6.3.1	Kokeiden suoritus	43
6.3.2	Tulosten käsittely	44
6.4	Pystyöjan suodattimen vetokokeet	45
6.4.1	Pituussuuntaiset kokeet	45
6.4.1.1	Koekappaleet	45
6.4.1.2	Vetokokeet	45
6.4.1.3	Tulosten käsittely ja arvostelu	45
6.4.2	Poikittaissuuntaiset kokeet	45
6.4.2.1	Koekappaleet	45
6.4.2.2	Vetokokeet	46
6.4.2.3	Tulosten käsittely ja arvostelu	46
6.5	Pystyöjanauhan vetokoe taivutettuna	46
6.5.1	Tarkoitus	46
6.5.2	Koekappaleet	47
6.5.3	Kokeen suoritus	47
6.6	Pystyöjanauhan vedenjohtokyvyn määrittäminen	47
6.6.1	Tarkoitus ja periaate	47
6.6.2	Viitteet	48
6.6.3	Määritelmät	48
6.6.4	Koelaitteet	48
6.6.5	Koekappaleet	49
6.6.6	Vedenjohtokykykokeet	49
6.6.6.1	Suorien koekappaleiden asentaminen kojeeseen	49
6.6.6.2	Taivutettujen koekappaleiden asentaminen kojeeseen	49
6.6.6.3	Vedenjohtokykykokeen suoritus	50

6.6.7 Tulosten käsittely ja arvostelu	50
6.6.7.1 Laskukaavat	50
6.6.7.2 Tulosten arvostelu	51
6.6.8 Raportointi	51
6.7 Geotekstiilisuodattimen tehokkaan huokoskoon määrittäminen	52
6.7.1 Tarkoitus ja periaate	52
6.7.2 Viitteet	52
6.7.3 Koelaitteet ja materiaalit	53
6.7.3.1 Hydrodynaaminen seulontakoje	53
6.7.3.2 Koemaa-aines	53
6.7.3.3 Muut laitteet	54
6.7.4 Koekappaleet	54
6.7.5 Kokeen suoritus	54
6.7.5.1 Valmistelu	54
6.7.5.2 Koe	54
6.7.6 Tulosten käsittely	55
6.7.7 Raportointi	56
6.8 Pystyojan suodattimen vedenläpäisevyyden määrittäminen vakiopainekokeella	56
6.8.1 Tarkoitus ja periaate	56
6.8.2 Viitteet	56
6.8.3 Määritelmät	56
6.8.4 Koelaitteet	57
6.8.4.1 Vedenläpäisevyyden mittalaite	57
6.8.4.2 Muut laitteet	57
6.8.5 Koekappaleet	57
6.8.6 Vedenläpäisevyyssuorituksen suoritus	58
6.8.7 Tulosten käsittely	58
6.8.8 Raportointi	59
KIRJALLISUUSLUETTELO	60
LIITELUETTELO	62

1 JOHDANTO

Pystyöjitukset tehtiin vielä noin 20 vuotta sitten hiekkaojilla, Suomessa poikkeuksetta suojaputkien avulla. Nauhapystyöjen yleistymisen myötä 70-luvun alusta lähtien myös pystyöjituskalusto on kehittynyt voimakkaasti. Nykyisin on mahdollista tehdä yli 30 m:n syvyyteen ulottuvia asennuksia, pystyöjen katkaisu vesistön pohjassa sekä asennustyö talvella.

Hydraulimoottoreiden yleistyttyä nauhaojen asennusnopeudet ovat kasvaneet yli 1 m/s suuruisiksi, ja syvissä ojituskohdeissa työsaavutus voi olla noin 6000 jm työvuoroa kohti. Hiekkapystyöjen ajalta teho on melkein kymmenkertaistunut.

Ensimmäisen nauhamaisen pystyöjatyypin kehitti Kjellman vuonna 1948. Poikkileikkaukseltaan 100 x 3 mm mittainen nauha koostui kolmesta pahvikerroksesta. Uloimmat kerrokset toimivat suodattimena ja keskimmainen, kanavilla varustettu kerros vedenjohtajana. Nauhan koko määräytyi silloin rakennetun pystyöjituskoneen staattisen kapasiteetin (noin 280 kN) perusteella. 1960-luvun puolessavälissä kehitettiin muovisydämellä ja paperisuodattimella varustettu Geodrain-pystyöjanauha. 70-luvun alusta lähtien ilmestyi markkinoille täyssynteettisiä, geotekstiilisuodattimella varustettuja nauhatyyppejä. Suodatinmateriaalina geotekstiilit ovat nykyään lähes täysin syrjäyttäneet voimapaperin, vaikka ehjän paperin suodatusominaisuudet ovatkin parhaasta päästä. Pystyöjanauhojen dimensiot ovat nykyisinkin suunnilleen samat kuin Kjellmanin pahviojan.

Nauhapystyöja asennetaan yleensä suojaputken avulla syrjäyttämismenetelmällä, jolloin maapohja pystyöjan ympärillä aina jonkin verran häiriintyy. Kun suojaputki on vedetty pois, alkaa häiriintyneen vyöhykkeen vaihtelevassa määrin tapahtuva palautuminen. Palautumismekanismien yksityiskohdista ei tiedetä kovinkaan paljon. Häiriintyneen maan ominaisuudet eivät palaudu täysin entiselleen, vaan mm. vedenjohtavuus jää yleensä alkuperäistä heikommaksi.

Suojaputket ovat yleensä suorakaiteen tai vinoneliön muotoisia. Maan tunkeutuminen suojaputken alapäähän estetään tavallisesti ankkurilevyn avulla, jonka päätarkoitus on kiinnittää pystyöjanauha haluttuun asennussyvyyteen. Suojaputken poikkileikkauksen sekä ankkurilevyn pinta-ala pyritään häiriintymisvaikutuksen sekä tarvittavan puristuskapasiteetin takia minimoimaan. Käytännössä suojaputken mitoitus perustuu toisaalta nurjahdusjäykkyteen sekä teräspoikkileikkauksen kulumisvaraan.

Pystyöjanauha syötetään rullien ohjaamana yleensä yläkautta suojaputkeen. Materiaalina pystyöjanauhat ovat hyvin kevyitä ja sellaisenaan varsin arkoja sään ja tuulen vaikutukselle. Asennuksen yhteydessä pystyöjanauhaan kohdistuvat rasitukset asettavat käyttöolosuhteita rankemmat vaatimukset nauhojen lujuudelle.

Pystyöjituksen tarkoitus on nopeuttaa huokosveden ylipaineen purkautumista maapohjasta lyhentämällä suotomatkaa. Hiekkapystyöjien tehokkuuden analysoimiseksi kehitetyt teoriat pohjautuivat aluksi Terzaghin v. 1925 esittämään yksidimensionaaliseen konsolidaatioteoriaan, jota Rendulic (1935) ja Barron (1948) laajensivat radiaalisuotovirtauksen osalta. Hansbo esitti 1960 väitöskirjassaan tarkennetun lähestymistavan, jossa huokosveden virtausnopeuden ja virtausgradientin välinen riippuvuus on epälineaarinen. Myöhemmin Hansbon teoriaa on sovellettu myös nauhapystyöjille.

2 SOVELTUVUUSTESTAUKSEN TARVE

Pystyöjituksen kriittinen parametri on käytettävissä oleva rakennusaika. Pystyöjituksen tehokkuudesta riippuu toisaalta maapohjan kuormitusaikataulu, toisaalta lopulliseen konsolidaatioasteen saavuttamiseen kuluva kokonaisaika. Tästä syystä on kiinnitettävä erityistä huomiota pystyöjamateriaalin pitkäaikaiseen toimivuuteen.

Hiekkapystyöjen käyttöön liittyi aikanaan monia riskitekijöitä ja seurauksena oli joitakin epäonnistuneita maapohjan vahvistushankkeita. Joksikin aikaa pengerpaalutus saavutti oman suosituimmuusasemansa pehmeikköraakentamisessa pystyöjituksen vaihtoehtona. Vasta synteettisten nauhapystyöjen tulo markkinnoille on palauttanut luottamuksen pystyöjitusmenetelmän käyttökelpoisuuteen.

Nauhapystyöjen ominaisuuksia alettiin systemaattisesti tutkia Chalmersin ja Delftin teknisissä korkeakouluissa. Ruotsalaisen koetoiminnan päällimmäisin kiinnostuksen kohde oli nauhaojan ekvivalenttihalkaisija. Sen määrittämiseksi kehitettiin laboratoriokoemenetelmä, jossa minikokoinen nauhaoja asennettiin häiriintymättömän maanäytteen sisään. Testaus tehtiin kolmiak-siaalikoeesellissä konsolidaatiokokeena. Hollannissa keskityttiin kuormitetun ja/tai taivutetun nauhapystyöjan vedenjohtokykymäärityksiin ja maalajien vaikutus pystyöjanauhan toimintaan jätettiin vähemmälle huomiolle.

Markkinoilla on joukko pystyöjanauhatyyppejä, joiden lujuus-, suodatin- ja vedenjohto-ominaisuuksia ei tunneta riittävästi. Suunnittelijan on vaikeaa päästä selvytyteen eri tyyppien käyttökelpoisuudesta ja keskinäisestä paremmuudesta käyttötilanteessa, koska vain harvoista tuotteista on saatavissa luotettavia ojan toimintaominaisuuksia koskevia tietoja ja riittävää käyttökokemusta. Hieman toisistaan poikkeavien pystyöjanauhojen suuri määrä ja keskinäinen kilpailu onkin nostanut hyvin vahvasti esille tarpeen standardisoida eräät ojanauhan ominaisuuksien määrityskokeet sekä yleensäkin määritellä ojille yleiset toimintavaatimukset.

Tämän tutkimusprojektin tavoitteena oli kehittää pystyöjanauhojen testaukseen ja hankekohtaiseen laadunvalvontaan soveltuvat menetelmät sekä testausjärjestelmä, jolla selvitetään nauhapystyöjen toimintavarmuus Suomessa esiintyvissä tavallisissa käyttö- ja pohjaolosuhteissa. Projektin yhteydessä tehtiin viidelle ojanauhatyypille tyyppitarkastuskokeet ja kesän 1991 aikana suoritettiin hankekohtaista laadunvalvontaa kolmessa pystyöjituskohteessa. Testausjärjestelmää on muokattu saatujen kokemusten pohjalta.

3 NAUHAPYSTYJOJEN TOIMINTA, OMINAISUUDET JA LAATUVAATIMUKSET

3.1 Lujuusominaisuudet

3.1.1 Yleinen laatuvaatimus

Pystyojanauhan lujuusominaisuuksien tulee olla sellaiset, että ojanauha kestää siihen asennuksen aikana ja käyttöolosuhteissa kohdistuvat normaallit rasitukset koko suunnitellun toimintaikänsä ajan riittävän toimintakyvyn säilyttäen. Pystyojanauhalla tulee olla sekä riittävä lujuus että muodonmuutosten sietokyky.

3.1.2 Pystyojanauhan rasitukset asennettaessa

Asennuksen aikana ojanauhaan kohdistuu lyhytkestoisia vetovoimia, jotka aiheutuvat upotuksen aikana ojanauhan kulkua ohjaavien rullien ja nauhanelan hitaus- ja kitkavoimista. Kun nauha pääsee kulkemaan normaalisti, ovat hitausvoimat suurempia kuin kitkavoimat. Hitausvoimat ovat verrannollisia työputken kiihtyvyyteen. Hitaus- ja kitkavoimista aiheutuvat vetovoimat ovat verrannollisia ojanauhan vetojäykkyyteen ja ovat yleensä suurimmillaan upotusvastuksen äkillisesti pienentyessä esim. työputken puhkaistessa saven päälle tehdyn tiiviin täyttömaakerroksen.

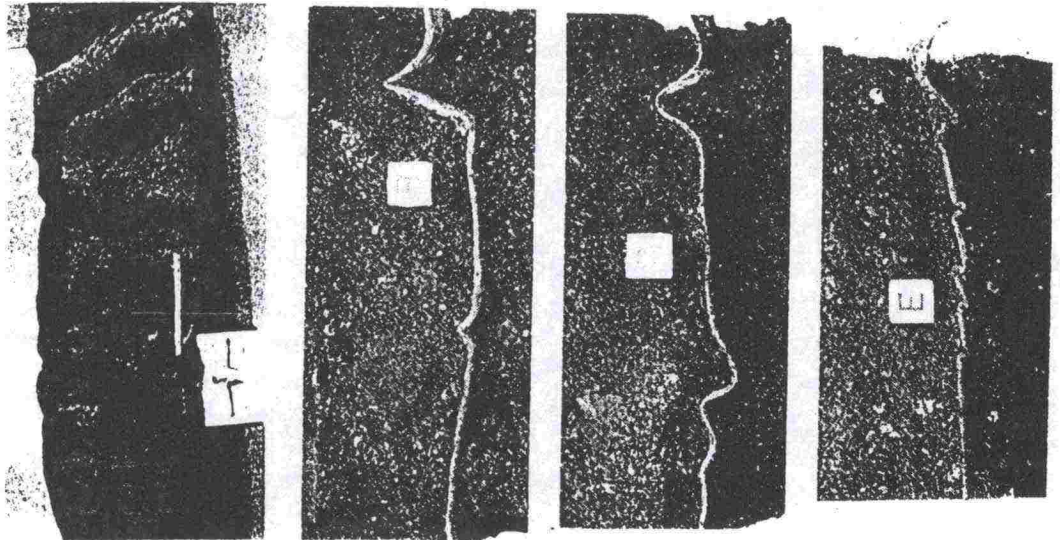
Ojanauhan ja suoja-putken sekä ohjausrullien välisestä kitkasta johtuvat vetovoimat ovat yleensä suurimmillaan vedettäessä suoja-putkea ylös. Ojanauhan suurimmat muodonmuutokset määräytyvät nauhan kulkuradan minimikäyryssäteen mukaan. Ojanauhan suurin paikallinen muodonmuutos syntyy normaalisti ankkurilevyn kiinnityskohtaan.

3.1.3 Pystyojan käytönaikaiset rasitukset

Nauhapystyjojaan kohdistuu käyttöikänsä aikana ympäröivästä maasta mekaanisia rasituksia, jotka aiheutuvat maanpaineesta, maakerrosten kokoonpuristumisesta, maapohjan mahdollista siirtymistä sekä pintamaan mahdollisesta jäätymisestä ja routimisesta.

Pystyjoitus johtaa yleensä suuriin painumiin. Yli 15 %:n kokoonpuristumia voi esiintyä. Tällöin nauhapystyjoja vain vähän kokoonpuristuvana käyristyy yleensä aaltomaiseen tai epäsäännölliseen "sik-sak"-muotoon (kuva 1). Deformoitunut muoto riippuu suhteellisen painuman suuruudesta, maan vaakasuuntaisesta jäykkyydestä ja jäykkyyden vaihteluista (maan kerroksellisuudesta) sekä ojanauhan elastisuudesta taivutettaessa.

Mahdolliset ylipenkereen aiheuttamat maapohjan plastiset siirtymät sekä pintamaan jäätyminen ja routiminen aiheuttavat nauhapystyöjiin paikallisia vetojännitysvyöhykkeitä, joissa venymät vaihtelevat rajusti ja voivat olla hyvin suuria.



Kuva 1. Nauhapystyöjien käyristyminen, kun maapohjan kokoonpuristuma on ollut noin 15 % (Oostveen, 1990).

3.1.4 Lujuusvaatimukset asennettaessa

Pystyojanauhan, nauhan kiinnityksen ankkurilevyyn ja ojanauhan jatkoksen tulee kestää ilman ojan toimintaa haittaavia muodonmuutoksia kaikki normaalin asentamisen aiheuttamat rasitukset, esimerkiksi vetovoimien epätaisesta jakaantumisesta ja mahdollisesta tuulikuormasta aiheutuvat repimisvoimat.

Kiinnitettäessä ojanauha ankkurilevyyn lenkin avulla tulee käyttää sellaista kiinnitystapaa ja minimitaivutussädettä, jonka nauhaprofiili murtumatta ja ydinosa liiallisesti kokoonpuristumatta kestää. Nauhaan pistemäisiä repimisvoimia aiheuttavaa kiinnitystapaa tulee välttää. Kun vesivirtaus tapahtuu myös alapuoliseen vettäjohtavaan maakerrokseen, kiinnitys ankkurilevyyn ei saa lisätä olennaisesti ojanauhan virtausvastusta.

Pystyojanauhan jatkoksessa vetovoimien tulee siirtyä nauhan koko leveyttä hyväksi käyttäen. Jatkoksessa sekä ojan ydinosa että suodatin on kiinnitettävä vetoa kestäväällä tavalla. Jatkoksen tulee vastata myös hydraulisilta ominaisuuksiltaan mahdollisimman hyvin jatkamatonta ojanauhaa. Jatkos ei saa muodostaa estettä veden virtaukselle eikä aiheuttaa tukkeutumisen kannalta haitallista maa-aineksen suotautumista ojaan.

3.1.5 Lujuusvaatimukset pitkäaikaisessa käytössä

Nauhapystyijan suunniteltu, häiriötön toiminta edellyttää, että pystyijalla on maanpainetta vastaan riittävä poikittaisjäykkyys sekä maapohjan painumisen ym. rasitukset huomioonottaen riittävä muodonmuutosten sietokyky. Pystyijan ydinosaan ei saa syntyä mitoittavan pitkäaikaisen maanpaineen vaikutuksesta ytimen vapaata poikkipinta-alaa merkittävästi pienentäviä muodonmuutoksia. Merkittäväksi katsotaan yli 30 %:n poikittainen muodonmuutos tai tilavuudenmuutos. Ytimen muotoilun tulee olla sellainen, että se ei jyrkästi taivutettunakaan aiheuta suodattimen puhkeamiseen tai repeytymiseen johtavia pistemäisiä tai viivamaisia rasituksia.

Suodatinmateriaalin tulee olla lujuudeltaan ja muodonmuutoskyvyltään riittävän homogeenista kaikissa suunnissa nauhan tasossa. Suodattimen saumalla ja suodattimen ja ydinosan välisellä saumalla tulee olla riittävä muodonmuutoskyky ja lujuus veto- ja leikkausrasituksille. Suodattimen ja saumojen tulee normaaleissa asennus- ja käyttöolosuhteissa pysyä täysin ehjinä.

Suodattimen tulee kestää murtumatta ja repeämättä maanpaineen aiheuttama painautuminen ydinosa vasten. Painautumien tulee olla riittävän pieniä veden esteettömän virtauksen mahdollistamiseksi. Suodatinmateriaalin tulee siten olla jännitys-venymä -käyttäytymiseltään sitkeää, mutta kuitenkin riittävän vetojäykkyyden omaavaa.

Nauhapystyijan käyristymisen (aaltomaiseen muotoon "nurjahtamisen") vaikutus toimintakykyyn on otettava huomioon ainakin silloin, kun maapohjan arvioitu suhteellinen painuma on suurempi kuin 15 %. Jotta pystyijan toiminta voi häiriöttä jatkua aaltomaiseksi deformatuneenakin, tulee ojanauhan taipua ilman, että siihen syntyy jyrkkiä taitekohtia. Juohevan taipumisen edellytyksenä on, että ojanauhan ydinosa ja suodatin käyttäytyvät sitkeästi, jolloin jyrkkäkään taipuminen ei johda suodattimen repeämiseen tai ydinosan litistymiseen. Suodattimen ehjänä pysyminen taivutettaessa on ojan toiminnan kannalta ratkaisevaa, sillä suodattimen repeytyttyä ojan tukkeutumisvaara kasvaa olennaisesti.

Suodattimelta vaadittavan muodonmuutoskyvyn takia materiaalin tulee olla suhteellisen pitkäkuituista. Esimerkiksi perinteiset paperipohjaiset materiaalit lyhytkuituisina ovat melko hauraita eli niillä on liian pieni murtovenymä.

Maapohjassa tapahtuvat plastiset siirtymät ja maan routiminen aiheuttavat nauhapystyijaan suuria paikallisia venymiä. Jotta pystyija voisi toimia ko. olosuhteissa, tulee sekä ytimen että suodattimen sietää suuria muodonmuutoksia rakenteensa riittävän ehjänä säilyttäen.

Pystyijan päästessä jäätymään kiinni maahan ojan ja maan välinen tartuntalujuus on suuri ja tartuntavoimat todennäköisesti lyhyellä matkalla rajusti muuttuvia. Routiminen johtaa helposti suodattimen repeytymiseen ja ojan katkeamiseen, ellei sekä ydinosalla että suodattimella ole suurta muodon-

muutoskykyä. Lisäksi tällöin on edullista, jos ydinosa ja suodatin pääsevät liukumaan toistensa suhteen.

3.2 Vedenjohtokyky

3.2.1 Yleinen laatuvaatimus

Nauhapystyojan pitkäaikaisen vedenjohtokyvyn tulee olla konsolidoitavien maakerrosten paksuuteen ja vedenläpäisevyyteen, esikuormitusaikaan, kuormituksen suuruuteen, kuormituksen lisäysnopeuteen ja ojaväliin nähden niin suuri, että ojan virtausvastus ei hidasta konsolidaatioprosessia. Tällöin virtausvastuksesta aiheutuvat paine-erot ojan pituudella ovat hyvin vähäisiä.

3.2.2 Ekvivalenttihalkaisija

Pystyojan ekvivalenttihalkaisija ilmaisee ojapoikkileikkauksen hydraulisesti tehokkaan koon. Nauhapystyojan ekvivalenttihalkaisija (D_e) voidaan laskea kaavalla

$$D_e = \frac{2(b+T_o) \cdot b_s}{\pi}$$

missä b on ojanauhan ydinosa-
leveys
 T_o ojanauhan paksuus
 b_s limitetyn sauman liimakaistan leveys

3.2.3 Pitkäaikaiseen vedenjohtokykyyn vaikuttavat tekijät

- 1) Nauhapystyojan alkuperäinen vedenjohtokyky (ytimen tehokas poikkipinta-ala, virtauskanavien muoto),
- 2) suodattimen painautuminen virtauskanaviin maanpaineen vaikutuksesta ja tämän tehokasta poikkipinta-alaa vähentävä vaikutus,
- 3) ojan ytimen poikittaiset muodonmuutokset (pitkäaikainen kokoonpuristuminen maanpaineen vaikutuksesta),
- 4) suodattimen läpäisseen maa-aineksen sedimentoituminen ojan pohjalle tai tarttuminen virtauskanaviin,
- 5) ojan tehokkaan poikkileikkauksen pieneneminen nauhan jyrkän taipumisen, vääntymisen tai vaurion vaikutuksesta.

Maanpaineen aiheuttama horisontaalikuormitus vaikuttaa yleensä merkittävästi nauhapystyjojan vedenjohtokykyyn, joten vedenjohtokyvyn yhteydessä on aina ilmoitettava myös vastaava horisontaalikuormitus.

3.2.4 Vedenjohtokyvylle asetettavat vaatimukset

Pystyjojaan tuleva vesivirtaama ja sen myötä nauhapystyjojalta vaadittava vedenjohtokyky määräytyy mm. konsolidaationopeuden, ojapituuden ja ojavälin mukaan.

Nauhapystyjojen vaihteleviin käyttöolosuhteisiin soveltuvat, yleispätevät vedenjohtokykyvaatimukset on tyypillisissä suomalaisissa käyttökohteissa konservatiivisia. Noudattamalla tämän ohjeen mukaisia vedenjohtokykyvaatimuksia ojaprofiilille jää normaaleissa käyttöolosuhteissa ylikapasiteettia, mikä katsotaan tarpeelliseksi mm. suurten deformaatioiden tai suodattimen puutteellisen toiminnan varalta poikkeustilanteissa.

Nauhapystyjojalta vaadittavan vedenjohtokyvyn määrittelemiseksi ojan käyttöolosuhteet voidaan luokitella seuraavien parametrien pohjalta (de Jager, Oostveen, 1990):

- 1) painuvan maakerroksen paksuus, usein lähes sama kuin ojapituus (L)
- 2) primäärinen kokonaiskonsolidaatiopainuma (S)
- 3) suhteellinen painuma (S/L)
- 4) konsolidoitumisaika suunniteltuun kons.asteeseen (T)
- 5) kuormituksen suuruus (ylipenger)
- 6) kuormituksen lisäysnopeus.

Näiden parametrien perusteella arvioidaan pystyjojan maksimivirtaama ko. olosuhteissa, minkä pohjalta määritellään edelleen tarvittava vedenjohtokyky ojaan kohdistuvassa, mitoittavassa maanpaineessa.

Vaadittavan vedenjohtokyvyn ja vastaavan horisontaalipaineen perusteella pystyjojanauhat voidaan jakaa seuraaviin luokkiin (de Jager, 1990):

Luokka	Ojapituus	Pengerrysnopeus	Vaadittu vedenjohtokyky	Horisontaalipaine
	(m)	(m/viikko)	(ml/s)	(kPa)
1	< 10	< 0,25	> 10	150
2	> 10	< 0,25	> 10	300
3	> 10	> 0,25	> 50	300

Ympäröivän maakerroksen painuessa pystysiirtymät aiheuttavat pystyjojanauhan "nurjahtamisen". Homogeenisessa maassa ojanauha deformoituu likimain aaltomaiseen muotoon. Ojanauhan käyristyessä sen poikkipinta-ala

pienenee ja siten vedenjohtokyky heikkenee. Jos ojanauhaan muodostuu jyrkkiä taitteita (nauha saattaa mennä kaksinkerroin), voi vedenjohtokyky vähentyä rajusti. Vedenjohtokyvyn säilyminen vaatii, että ojanauhan ydin kestää jyrkän taipumisen litistymättä.

Pystyojanauhan käyristymisen ja muiden deformaatioiden sekä ojan sisään ajan mittaan kulkeutuvan maa-aineksen vaikutusten huomioimiseksi suoran ojanauhan vedenjohtokyvyn tulee laboratoriokokeessa käyttöolosuhteita vastaavassa horisontaalipaineessa olla vähintään 10-kertainen arvioituun maksimivirtaamaan nähden.

3.3 Pystyojanauhan suodattimen toiminta

3.3.1 Yleisvaatimus

Suodattimen tulee estää maamateriaalin kulkeutuminen veden mukana pystyjojaan (mekaaninen tehokkuus) kuitenkaan aiheuttamatta liiallista läpivirtausta hidastavaa painehäviötä (hydraulinen tehokkuus).

Suodattimen vedenläpäisevyys ja maa-aineksen pidätyskyky ovat osin vastakkaisia vaatimuksia, minkä vuoksi molempien vaatimusten yhtäaikainen maksimaalinen toteutuminen ei ole mahdollista. Onkin pyrittävä löytämään kahden vaatimuksen sopiva **yhdistelmä**, jossa painotetaan mekaanista ja hydraulista tehokkuutta olosuhteiden mukaan.

3.3.2 Geotekstiilisuoatattimen luonne

Suodattimen mekaaninen ja hydraulinen tehokkuus määräytyvät suurelta osin suodatinmateriaalin huokosten koon, huokoskokojakautuman sekä suodattimen paksuuden perusteella.

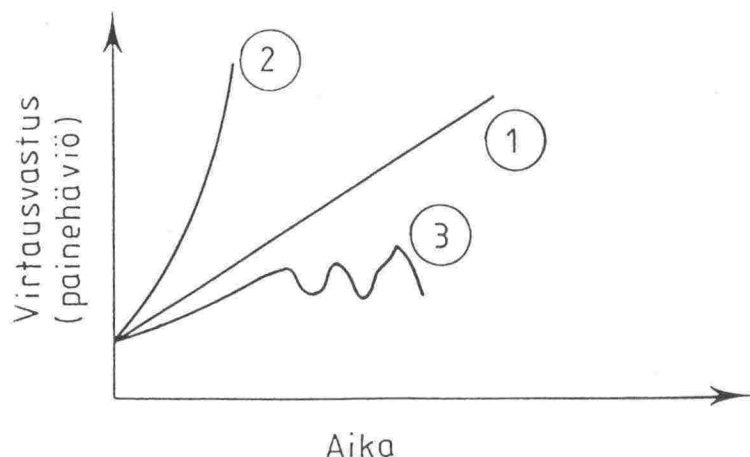
Nauhapystyjojan yleisin suodatinmateriaali on geotekstiili, joka useimmiten on termisesti sidottua kuitukangasta. Kuitukankaan suodatusominaisuudet riippuvat kuidun paksuudesta, kankaan tiheydestä (neliöpainosta) ja kankaan paksuudesta. Termisesti sidottu kuitukankaat ovat ohuita, ja kankaan rakenne vastaa usein lähinnä erikokoisilla aukoilla varustettua seulaa. Geotekstiilien kuidut ovat suhteellisen ohuita. Kuitujen läpimitta on paljon pienempi kuin huokosten läpimitta, joten geotekstiilisuoatattimen huokosrakenne on melko avoin eli huomattavasti avoimempi kuin maasuodattimen huokosrakenne.

3.3.3 Suodattimen toimintamekanismit

Geotekstiilisuoatattimen mekaaninen ja hydraulinen tehokkuus määräytyvät pääosin huokosten koon ja kokojakauman perusteella suhteessa ympäröivän maan raekokojakautumaan. Suodattimen toiminnassa on erotettavissa

kolme pääasiallista mekanismia (kuva 2):

- 1) maa-ainekerroksen kerääntyminen suodattimen taakse (cake filtration)
- 2) maa-aineksen kiilautuminen suodattimen huokosiin (blocking filtration)
- 3) tilasuotautuminen (deep filtration).



Kuva 2. Suodattimen aiheuttama virtausvastus ajan ja toimintamekanismin funktiona (Vreeken, 1990).

Suodattimen pitkäaikaistoimintaa voidaan kuvan 2 tapauksissa kuvata seuraavasti:

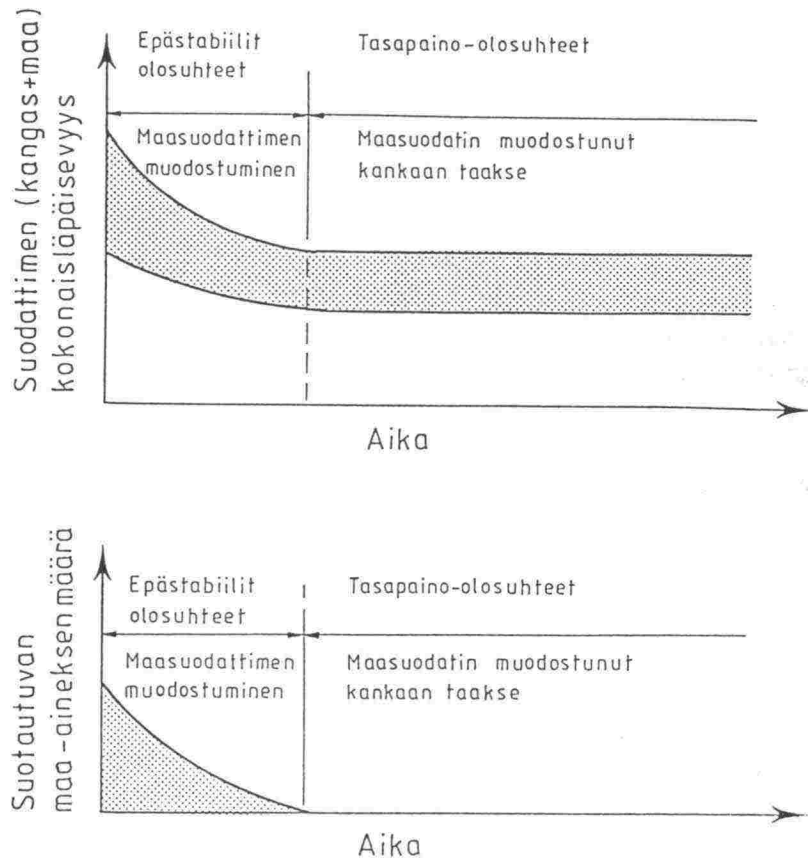
- 1) Huokosveden mukana kulkeutuva maa-aines kerääntyy suodattimen taakse silloin, kun maapartikkelit valtaosaltaan ovat suurempia kuin suodattimen huokokset (aukot). Ajan myötä kerääntyvä maakerros aiheuttaa virtausvastuksen kasvua, jolloin virtausvastuksen lisäys on likimäärin verrannollinen kerääntyneen kerroksen paksuuteen ja sen vedenläpäisevyyteen.
- 2) Maapartikkelit kiilautuvat suodattimen huokosiin, kun partikkelit ja huokokset ovat likimain samankokoisia. Suuri osa huokostilasta voi täyttyä maapartikkeleilla, jolloin virtausvastus kasvaa nopeasti.
- 3) Tilasuotautumisessa maapartikkelit ovat valtaosaltaan pienempiä kuin suodattimen huokokset. Vain osa maa-aineksesta pidättyy suodattimen huokosiin adheesiovoimien (van der Waalsin voimat) vaikutuksesta. Suotautumisen alussa huokostila on puhdas ja paine-ero suodattimen yli pieni. Maapartikkeleiden tukkiessa osan huokosista virtausvastus ja paine-ero kasvavat, kunnes osa pidättyneistä partikkeleista irtoaa ja paine-ero samalla pienenee. Tilasuotautumiselle on ominaista paineeron vaihtelu ajan suhteen partikkeleiden "vuorotellen" pidättyessä ja irrotessa suodattimesta. Virtausvastus pysyy pitkällä aikavälillä kutakuinkin samalla keskimääräisellä tasolla.

3.3.4 Suodattimen mekaaninen tehokkuus

Täydellinen suodatin kykenee pidättämään pienimmätkin veden kuljettamat maapartikkelit. Käytännön geotekstiilisoodatin läpäisee alkuvaiheessa huomattavan osan maapartikkeleista, jotka ovat pienempiä kuin suodattimen

tehokas huokoskoko. Jos suodattimen huokoskoko on maan raekokoon ja -jakaumaan nähden sopiva, muodostuu suodattimen taakse suodattava maakerros (kuva 3).

Näin syntynyt geotekstiilin ja maan yhdessä muodostama suodatin pystyy pidättämään lähes kaiken veden kuljettaman maa-aineksen. Ko. itsesuodatuksen syntymisen vaatima aika vaihtelee ja on riippuvainen useista tekijöistä, mm. huokospainegradientin suuruudesta.



Kuva 3. Geotekstiilisuolettimen pitkäaikaisen toiminnan periaate, kun geotekstiilin huokoskoko on maalajiin nähden sopiva.

Eräissä pitkäaikaisissa geotekstiilisuolettimien suodatuskokeissa, joissa käytetyt maalajit olivat suodatusteknisesti vaikeita ja hydraulisen gradientin arvot 1 ja 3, itsesuodatuksen kehittyminen kesti 10-100 vrk ja vedenläpäisevyys asettui tasapainotilaan 100-200 vrk kuluttua kokeiden alusta (Lawson, 1990).

Pystyjojan suodautuva maa-aines

Pystyjojan sisään joutuvan maa-aineksen määrä on riippuvainen suodattimen mekaanisesta tehokkuudesta, ojaan tulevan veden määrästä ja sen maa-ainespitoisuudesta. Veden maa-ainespitoisuuteen vaikuttavat maalajin eroosioherkkyys (riippuvainen mm. raekoostumuksesta ja koheesiosta) ja veden virtausnopeus (huokosylipaineen gradientti, maan vedenläpäise-

vyys). Näin ollen esimerkiksi maapohjan koostuessa vuorottelevista savi- ja silttikerroksista kasvaa sisäisen eroosion riski siltissä veden virtausnopeuden kasvaessa ja koheesion vaikutuksen vähetessä.

Osa pystyjojaan joutuneesta maa-aineksesta poistuu veden mukana osan sedimentoitua ojan pohjalle. Sedimentoituvan maan määrään vaikuttavat sen raekokokoostumus ja veden virtausnopeus ojassa. Suodattimen läpäisseen maa-aineksen raekoostumus taas on riippuvainen huokosveden alkuperäisestä maa-ainekoostumuksesta, suodattimen mekaanisesta tehokkuudesta ja sen muuttumisesta ajan mittaan (suodattimen osittainen tukkeutuminen, itsesuodatuksen kehittyminen). Veden virtausnopeus ojassa määräytyy huokosylipaineesta ja sen gradientista, maakerrosten painumisnopeudesta, ojavälistä, ojan pituudesta ja poikkileikkausalasta.

On siten varsin lukuisia tekijöitä, jotka vaikuttavat pystyjojaan joutuvan maa-aineksen määrään ja sen myötä tukkeutumisriskiin. Niinpä on selvää, että suodattimelta vaadittava mekaaninen tehokkuus ei ole yksikäsitteisesti pelkästään maan raekoostumuksen perusteella määriteltävissä. Käytännössä pystyjoitussovellutuksissa suodattimelta vaadittavaa mekaanista tehokkuutta arvioidaan pääasiassa maalajin raekoostumuksen (eroosioherkkyyden) avulla.

Mikäli suotoveden maa-ainespitoisuus ja raekoostumus tunnettaisiin paremmin, voitaisiin virtausnopeus huomioiden arvioida ojaan sedimentoituvan maan määrää esim. Stokesin kaavaa käyttäen. Julkaistuja tutkimustuloksia suotoveden maa-ainespitoisuudesta ja raekoostumuksesta on vain vähän (Vreeken, 1983).

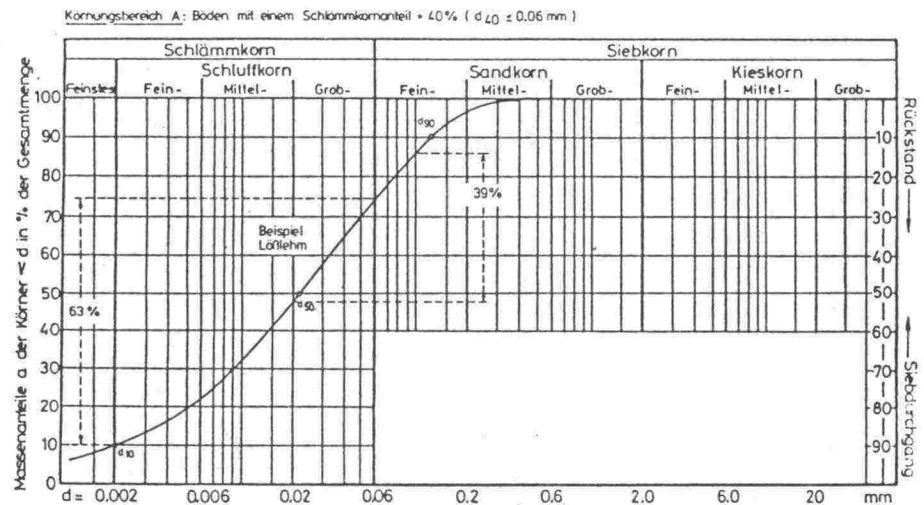
Suodatinteknisesti valkeat maalajit

Suodatusteknisesti vaikeina maalajeina pidetään sellaisia maalajeja, jotka vähäisen koheesion vuoksi ovat herkkiä sisäiselle eroosiolle (lähinnä keski- ja karkeaa silttiä tai hienoa hiekkaa). Suodatusteknisesti vaikeita voivat olla myös hyvin suhteistuneet kitkamaalajit, joissa voi tapahtua suffoosiota eli hienoa-aineksen huuhtoutumista karkeammasta raerungosta. Edellä mainituista syistä geotekstiilien mekaaniset suodatinvaatimukset määräytyvät maan karkeamman fraktion mukaan, kun taas hydraulinen soveltuvuus määräytyy maan hienomman fraktion mukaan.

Suodatinteknisesti vaikeat maalajit voidaan määrittää seuraavien vaihtoehtoisten kriteerien perusteella (Karge, Collins, 1984, kuva 4):

1. Raekoon ollessa alle 0.06 mm, kun raekokosuhde $U = d_{60}/d_{10} < 15$.
2. Maan massaosuuden alueella $0.02 \text{ mm} > d > 0.1 \text{ mm}$ ollessa yli 50 %.
3. Maalajin osuessa rakeisuusalueelle A kuvassa 4 (kun $d_{40} < 0,06 \text{ mm}$) ja kun plastisuusluku $I_p < 15$

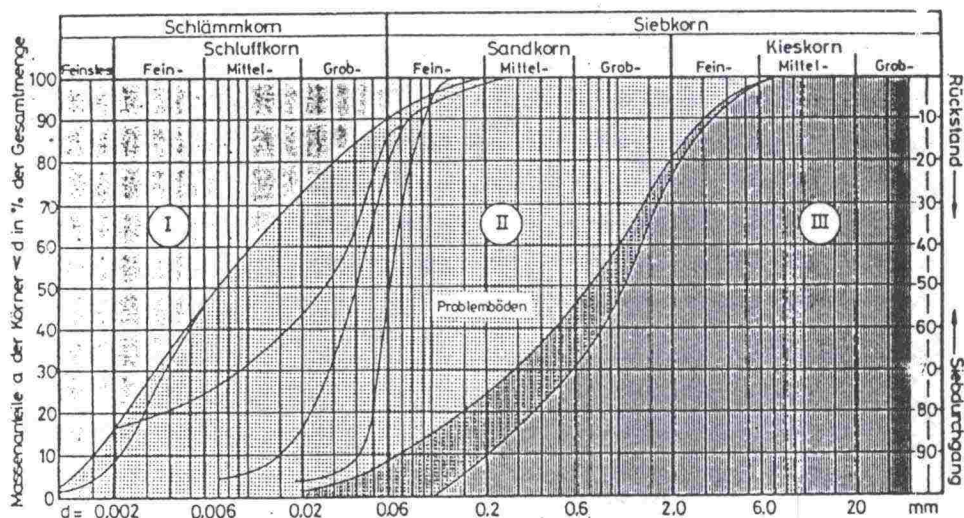
tai (kun plastisuuslukua ei tunneta) savi- ja silttilajitteen suhde < 0.5 .



Kuva 4. Rakeisuusalue A(viivoitettu), jossa maalajit voivat olla suodatus-
teknisesti vaikeita (DVWK Schriften 76, 1986).

Kuvassa 5 on esitetty kolme rakeisuusaluetta. Kun maalajin rakeisuuskäyrä on alueella I, voidaan yleensä tehokkaan koheesion ansiosta käyttää lievähköjä mekaanisia suodatinehtoja ja maan pienestä vedenläpäisevyydestä johtuen suodattimen hydrauliset vaatimukset ovat vähäiset.

Kuvan 5 alueella II suodatin on mitoitettava erityisen huolella. Alue II sisältää edellä esitettyjen suodatinteknisesti vaikeiden maalajien määrittämissä täyttävät maalajit.



Kuva 5. Maalajien jakautuminen suodatinteknistä vaikeutta kuvaaviin luokkiin (Schweizer Norm SN 670 125a).

Maasuodattimien mekaanisista suodatinehdoista

Maasuodattimien suodatinkriteerejä on tutkittu vuosikymmeniä ja niille on olemassa yleisesti hyväksyttyjä suodatinehtoja. Sen sijaan geotekstiilien toisistaan selvästi poikkeavia suodatinehtoja on paljon, ja niiden soveltaminen voi johtaa hyvin erilaisiin tuloksiin. Yleistä hyväksyntää saavuttaneita geotekstiilien suodatinehtoja ei ole, joskin kriteerien hajonta on vähenemässä. Jos geotekstiilin ja maasuodattimen huokoskokojen jakaumat voidaan sovittaa yhteen, olisi maasuodattimelle hyväksytty suodatinehto sovellettavissa geotekstiilisuodattimelle edellyttäen, että suodatinten paksuusero otetaan huomioon (Fischer et al., 1990)

Maa- ja tekstiilisuodattimen huokoskokoja voidaan vertailla mm. kuvankäsittelyn menetelmin. Usein tekstiilisuodattimen huokoskoko on pienempi kuin hiekkasuodattimien huokoskoko.

Geotekstiilien mekaaniset suodatinehdot

Taulukkoon 1 on koottu eräitä suodatinehtoja, jotka koskevat geotekstiilisuodattimien mekaanista tehokkuutta hiekka- ja silttimaalajeissa. Siten perusmaan koheesion vaikutusta ei juuri ole huomioitu.

Taulukko 1. Geotekstiilisuodattimien mekaanisen tehokkuuden suodatinehtoja. O_{90} , O_{95} , D_w ovat suodattimen tehokkaita huokoskoja ja d_i maan raekokoja.

Suodatinehto	Viite ym.	Soveltuvuusrajoitukset
$O_{95} < d_{85}$	US Waterways	
$O_{90} < d_{90}$	Delft Hydraulics	Kudotut kankaat
$O_{90} < 1,8d_{90}$	Laboratory	Ei-kudotut kankaat
$O_{90} < Bd_{50}$ eli $O_{90} < (3-5)d_{50}$	Schober ja Teindl $U > 5$, ei-kudotut, ohuet	Kertoimella B otetaan huomioon raekokojen jakauma (raekokosuhte U) ja vaikutetaan varmuustasoon
$O_{90} < (1-2,5)d_{50}$	$U < 5$, kankaat (U =raekokosuhte)	
$O_{90} < (0,5-1,3)d_{50}$	Ragutski	Kudotut kankaat sivupaineen alaisena
$O_{90} < (0,5-1,5)d_{50}$	"-	Ei-kudotut kankaat sivup. alaisena
$O_{90} < (0,5-0,7)d_{50}$	"-	Kudotut ja ei-kudotut kankaat ilman sivupainetta
$D_w < d_{90}$ ja	Heerten	$d_{50} \leq 0.06$ mm (siltit)
$D_w < 2d_{90}$	"-	pitkäaikaisen staabiilin koheesion omaavat maalajit (kun kuormitus ei vaikuta koheesioon)
$D_w < 10d_{50}$ ja $D_w < 0,1$ mm	Wittman	suodattimen paksuuden suhde huokoskoon > 25

Varmuuskerroin (η) suodattimen ja maan rajapinnassa tapahtuvan eroosion suhteen voidaan ilmaista luvun B_{50} avulla (Schober, Teindl, 1979)

$$\eta = \frac{B_{50kr}}{B_{50sall}}, \text{ missä } B_{50} = \frac{O_{90}}{d_{50}}.$$

Tällöin $B_{50} = B_{50kr}$ vastaa tilannetta, jossa maa-suodatin-systeemin käyttäytyminen tulee kriittiseksi. Varmuuskertoimena voidaan käyttää $\eta = 1.5$, jolloin $B_{50sall} = 2/3 B_{50kr}$.

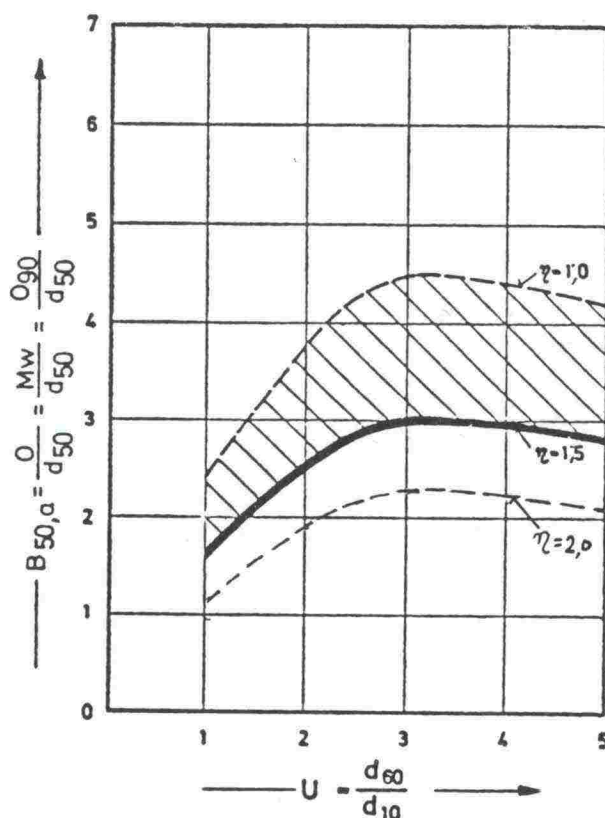
Ohuiden ei-kudottujen geotekstiilisuodattimien suodatinkriteerinä voidaan käyttää kuvan 6 mukaisesti perusmaan raekokosuhteen $U = d_{60}/d_{10}$ funktiona

$$B_{50} = \frac{O_{90}}{d_{50}} < (1,5 - 2,8),$$

missä O_{90} on suodattimen tehokas aukkokoko
 d_{50}, d_{10}, d_{60} perusmaan raekokoja.

Kun maapohjan arvioidaan olevan herkkää sisäiselle eroosiolle eli maalajit lähinnä keski- ja karkeita silttejä, kasvaa sen myötä suodattimen tukkeutumisriski. Tällöin käytetään raekokosuhteen U funktiona suodatinkriteerinä (varmuuskerroin $\eta > 2,0$, kuva 6)

$$B_{50} = \frac{O_{90}}{d_{50}} < (1,1 - 2,1).$$



Kuva 6. Pystyjanauhan suodattimille soveltuva mekaaninen suodattinehto, kun maapohja koostuu siltti- ja hiekkamaalajeista (Schober, Teindl, 1979).

3.3.5 Suodattimen hydraulinen tehokkuus

Jotta huokosveden esteetön purkautuminen pystyjoaan olisi mahdollista, tulee suodattimen tasoa vastaan kohtisuoran vedenläpäisevyyden olla vähintään yhtä suuri kuin ympäröivän maan vaakasuora vedenläpäisevyys.

Esteettömän virtauksen mahdollistamiseksi suodattimen vedenjohtavuuden tulee pysyä maakerroksen vedenjohtavuutta suurempana pitkäaikaisessa virtaustilassa huolimatta hienoaineksen kerääntymisestä suodattimen huokostilaan ja kuormituksen aiheuttamasta kokoonpuristumisesta.

Koska suodattimen paksuus on pieni verrattuna kuivatettavaan maavyöhykkeeseen (ojaväliin), on suodattimen vedenläpäisevyyden muutoksilla kuitenkin yleensä melko rajallinen vaikutus maan ja suodattimen yhdistelmän vedenläpäisevyyteen.

Hienoaineksen tukkiessa suodatinkankaan aukkoja kankaan vedenläpäisevyys voi pienentyä rajusti. Tällöin on maapartikkelien koolla suhteessa kankaan huokoskokoon tärkeä merkitys (kohta 3.3.3). Geotekstiilin tyypistä ja maalajista riippuen vedenläpäisevyys voi vähentyä jopa 3 - 4 dekadia. Kuvassa 7 on esitetty alle 2 mm paksuisten geotekstiilin alkuperäisen vedenläpäisevyyden pienentyminen perusmaan raekoon d_{10} funktiona.

Hollannissa tehdyissä tutkimuksissa (Oostveen, 1986) nauhapystyöjen maksimivirtaama oli 0,5 - 5 ml/s. Kun tämän maksimivirtaaman arvioidaan kertyvän tasaisesti välillä 10 - 20 m vaihtelevalla ojapituudella, tulee veden virtausnopeudeksi (v_o) suodattimen läpi suodattimen pinta-alan ollessa 0,2 m²/oja-m

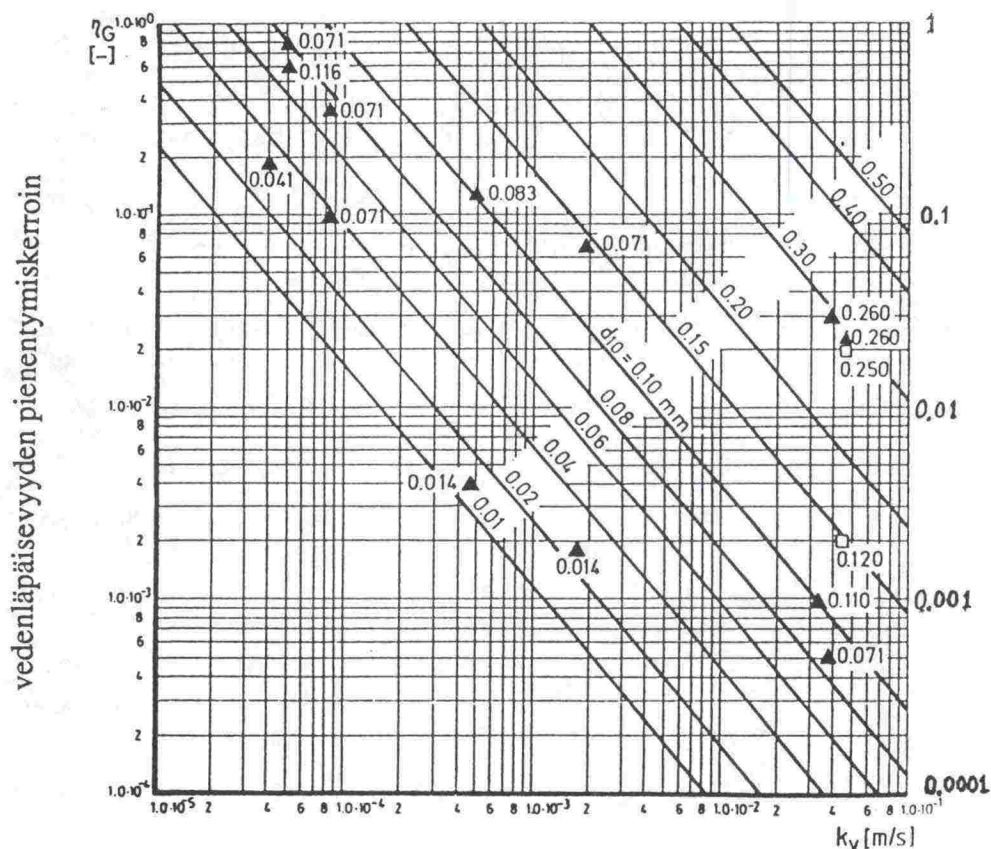
$$v_o = 1,25 \dots 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

Kun suodattimen aiheuttama painehäviö rajoitetaan enintään 50 mm:n suuriseksi saadaan vaadittavaksi suodattimen pitkäaikaisen permittiivisyyden vähimmäisarvoksi (Ψ)

$$\Psi > (25 - 50) \cdot 10^{-6} \text{ 1/s.}$$

Kun otetaan huomioon vedenläpäisevyyden heikkeneminen ajan myötä maan tukkiessa osan suodattimen huokostilasta, tulee initiaalisen, puhtaan suodattimen permittiivisyyden olla (ojapituudesta riippuen)

$$\Psi > (2,5 - 5,0) \cdot 10^{-3} \text{ 1/s.}$$



Kuva 7. Perusmaan rakeisuuden (raekoon d_{10}) vaikutus alle 2 mm paksuisten geotekstiilisuolettimien pitkäaikaiseen vedenläpäisevyyteen (DVWK Schriften 76, 1986). (k_v on initiaalinen, puhtaan suodattimen vedenläpäisevyys).

3.4 Pystyöjan pitkäaikaisluotettavuus

3.4.1 Edellytykset

Pystyöjitukselle varattu toiminta-aika on yleensä 2 - 3 vuotta. Painumien toteutuminen suunnitellun aikataulun mukaan edellyttää, että pystyöjat säilyttävät toimintakykynsä riittävänä koko painumiselle varatun ajan.

Nauhapystyöjan toimintakyvyn säilymisen edellytykset ovat

- 1) ojapoikkileikkaukseen ei synny virtausta estäviä muodonmuutoksia (ydinosan kokoonpuristumista esim. ojanauhan jyrkästi taittuessa),
- 2) suodattimen painautuminen ydinosaa vasten ei vähennä liiallisesti tehokasta poikkipinta-alaa,
- 3) suodatin pysyy ehjänä (mekaaniset ja kemialliset rasitukset),
- 4) suodatin ei tukkeudu sen sisään ja taakse keräytyvän maa-aineksen johdosta ja
- 5) ojaan kulkeutuvan ja sinne sedimentoituvan maa-aineksen määrä pysyy riittävän pienenä.

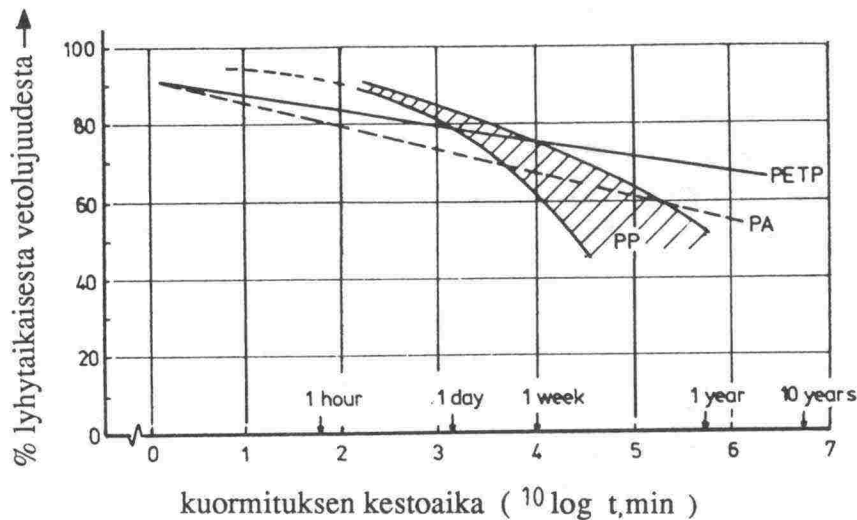
Ehtojen 1 - 3 toteutumisen edellytyksenä on, että sekä ydinosan että suodattimen materiaalien lujuus ei heikkene haitallisessa määrin toiminta-aikana.

Pystyöjan pitkäaikainen luotettava toiminta edellyttää kohdassa 4.4 esitettyjen laatukriteerien täyttämistä sekä asianmukaista ojitustyön suoritusta.

3.4.2 Pitkäaikaislujuus

Pystyöjanauhojen raaka-aineina käytetään tavallisia polymeerimuoveja: polyesteriä, polyeteeniä, polypropyleeniä. Polymeerimuovien vetomurtolujuus on riippuvainen pääasiassa muovilaadusta, kuormituksen kestoajasta ja lämpötilasta. Tietyn jännitystason yläpuolella muovikuitu hiipuu eli venymä kasvaa ajan myötä johtaen vetomurtoon, jos ko. jännitystä ja lämpötilaa vastaava kriittinen kuormitusaika ylitetään.

Tavallisimpien geotekstiileissä käytettävien muovilaatujen lujuuden riippuvuus kuormituksesta on esitetty kuvassa 8. Hiipumaherkkyys kasvaa järjestyksessä polyesteri, polyamidi, polypropyleeni, polyeteeni. Suuren hiipumansa takia polyeteeni (ei kuvassa 8) soveltuu vain pienillä jännitystasoilla pitkäaikaiseen kuormitukseen.

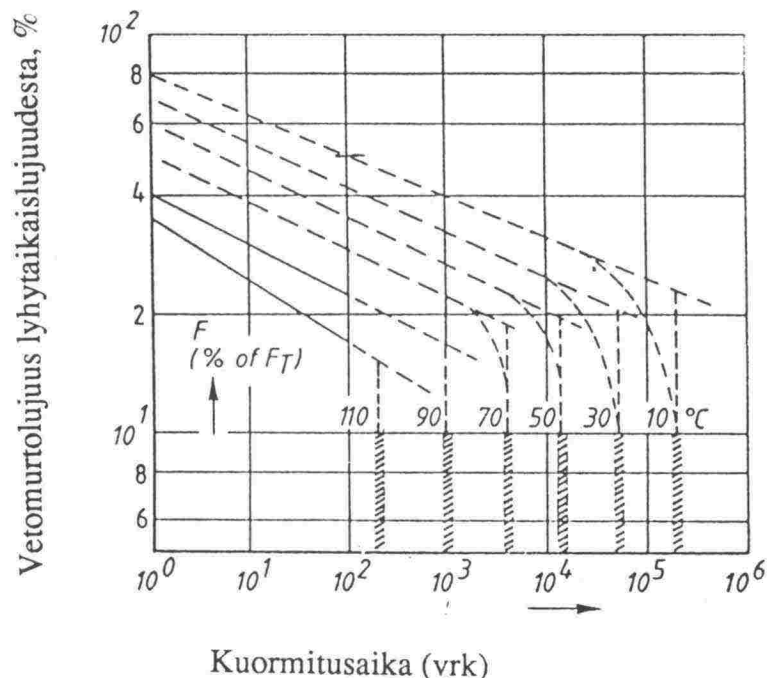


Kuva 8. Kuormitusajan vaikutus polyesterin(PETP), polyamidin(PA) ja polypropyleenin(PP) vetomurtolujuuteen.

Polypropyleenin ja polyeteenin murtovenymä kasvaa kuormitusnopeuden pienentyessä, kun taas polyesterin ja polyamidin murtovenymään kuormitusnopeus ei vaikuta.

Kuvasta 9 ilmenee kuormitusajan ja lämpötilan vaikutus polypropyleenin murtolujuuteen, joka on ilmaistu osuutena lyhytaikaisesta murtolujuudesta. Lämpötiloja 10 °C - 70 °C vastaavat käyrät on estimoitu määritettyjen lyhytaikaisten murtolujuusarvojen ja 90 °C - 110 °C käyrien perusteella (Wisse, 1988). Jännitystason noustessa polypropyleenin murtumiseen johtava kuormitusaika lyhenee. Esimerkiksi jännityksen ollessa 50 % ja 40 % lyhytaikaisesta murtolujuudesta ovat murtoon johtavat kuormitusajat 10 °C:n lämpötiloissa vastaavasti noin 0,25 v ja 2,5 v. Pystyöjan toimintaikää vastaava polypropyleenin pitkäaikaislujuus on siten noin 30 - 40 % lyhytaikaisesta murtolujuudesta.

Kuvan 9 mukaan alhaisilla jännityksillä (alle 10 - 20 % lyhytaikaisesta murtolujuudesta) polypropyleenin lämpö-hapetus-stabiilitetti on lujuuden suhteen ratkaiseva. Tällöin maapohjan yleensä alle 10 °C:n lämpötiloissa polypropyleenin lämpö-hapetus-stabiilitetti on riittävä yli 200 vuoden kuormitusajalle. Hapettumisen seurauksena geotekstiili haurastuu.



Kuva 9. Polypropyleenin lujuus kuormitusajan ja lämpötilan funktiona (Wisse, 1988).

Muovimateriaalin hiipuma voi vaikuttaa ojanauhan ydinosan muodonmuutokseen, jos maanpaine kuorma kohdistuu ydinosaan epätasaisesti, esim. pistemäisesti ja jos ydin on epäedullisesti muotoiltu. Mikäli ydin tukee suodattinta huonosti, syntyy suodattimeen vetojännityskeskittymiä, mikä voi johtaa kasvavaan hiipumaan (venymiin) sekä sen myötä suodattimen tunkeutumiseen virtauskanaviin.

3.4.3 Kemiallinen kestävyys

Pystyöjanauhoissa yleiset muovilaadut ovat suojaamattomina herkkiä ultraviolettisäteilylle. Pitkäaikainen altistuminen auringon valolle aiheuttaa muovimolekyylien katkeilua ja siten materiaalin haurastumista. Polypropyleeni ja polyeteeni ovat herkimät valolle. UV-stabiloituina kaikki muovilaadut kestävät auringonvaloa melko hyvin. Muovien lämmönkestävyys lyhytaikaisessa varastoinnissa on hyvä.

Taulukossa 2 on esitetty Suomessa saatavissa olevien, tyyppitarkastettujen pystyöjanauhojen rakenne- ja materiaalitiedot.

Taulukko 2. Tyyppitarkastettujen pystyojanauhojen rakenne ja materiaalit.

Pystyojanauha	Mebra-Drain 7407	Colbondrain CX 1000	Tenax VDR 100	Flodrain FD 6 x 100	Amerdrain 407
nimellis- massa, g/m	76	67		85	80
mitattu massa, g/m	65 - 83	66,5 - 75	85 - 86	87 - 109	105
<u>ydinosa</u>					
materiaali	polypropy- leeni	polyesteri	HDPE	HDPE	polypropy- leeni
rakennetyyppi	suorat kanavat	3-D, avoin rakenne	suorat kana- vat + reiät	3-D, kenno- mainen	suorat kanavat
<u>suodatin</u>					
materiaali	polypropy- leeni	polyesteri	polypropy- leeni	polypropy- leeni	polypropy- leeni
nimellis- massa g/m ²	136	180		136	136
tyyppi	Typar 3407	Colbond	Typar	Typar 3407	Typar 3407

Pystyojanauhat tulee varastoida auringon valolta suojattuina myös työmaaolosuhteissa, ellei nauharullia ole pakattu UV-säteilyltä suojaavaan (muovi)pakkaukseen.

Nauhapystyöjissä käytettyjen muovilaatujen kemiallinen kestävyys on saastumattomassa maapohjassa mm. mikrobien vaikutusta vastaan hyvä. Saastuneessa maassa, jossa mm. metallit voivat olla liukoisia, muovien kestävyyttä ei tunneta riittävästi. Pohjaveden suuri rautapitoisuus lisää suodattimen tukkeutumisriskiä.

4 PYSTYOJANAUHOJEN HYVÄKSYMISKRITEERIT

4.1 Lujuusominaisuuksien hyväksymiskriteerit

4.1.1 Ojanauhan vetolujuus

Pystyojanauhan tulee kestää lyhytaikaisesti vähintään 1,0 kN:n pituussuuntainen, poikkileikkaukselle tasan jakaantunut vetovoima. Ojanauhan tulee sekä ydinosan että suodattimen osalta toimia sitkeästi. Pituussuuntaisen murtovenymän tai maksimivetolujuutta vastaavan venymän tulee olla vähintään 15 %.

Pystyojitetun maapohjan ollessa alttiina routimiselle tai plastisille siirtymille tulee sekä ydinosan että suodattimen vetomurtovenymän olla vähintään 30 %.

Ojanauhan kiinnityksen ja ojanauhan jatkoksen ankkurilevyyn tulee kestää vähintään sama vetovoima (1,0 kN) kuin suoran ojanauhan ilman toimintaa haittaavia murtumia tai repeämiä.

4.1.2 Nauhan kokoonpuristuvuus

Ojanauhan poikittainen kokoonpuristuma 125 kPa:n tasaisessa kuormituksessa (ödometrikokeessa jäykkien levyjen välissä) saa olla 30 d:n aikana enintään 30% alkuperäisestä nauhan paksuudesta. Kokoonpuristumisnopeus 125 kPa:n kuormituksessa aikavälillä 30 - 60 d saa olla keskimäärin enintään 0.05 mm/ 30 d.

Ojanauhan ydinosan tulee kestää taivuttaminen riittävän pienelle taivutussäteelle murtumatta tai litistymättä ($R_{min} = 5$ mm). Ko. taipuminen ei saa johdtaa myöskään suodattimen murtumiseen tai saumauksen repeämiseen.

4.1.3 Suodattimen lujuus

Suodatinmateriaalin vetolujuuden tulee olla sekä pituus- että poikittaissuunnassa vähintään 3,0 kN/m ja murtovenymän vähintään 15 % (routimisalttiissa olosuhteissa vähintään 30%). Suodattimen saumauksen ja suodattimen ja ydinosan välisen sauman poikittaissuuntaisen vetolujuuden tulee olla vähintään 1,5 kN/m ja saumallisen suodattimen keskimääräisen vetomurtovenymän vähintään 10 %. Saumauksen leikkausmurtovenymän tulee olla vähintään 10 %.

4.2 Vedenjohtokyvyn hyväksymiskriteeri

Kun pystyjitussyvyys on alle 20 m ja konsolidaatioaika yli 1,5 v, on vedenjohtokyvyn vähimmäisarvo (laboratoriossa määritettynä) $q_w = 10$ ml/s tasaisessa 125 kPa:n sivukuormituksessa. Mikäli ojitussyvyys on yli 20 m, suhteellinen painuma yli 15 % ja konsolidaatioaika alle 1,5 v, tulee vedenjohtokyvyn olla vähintään 20 ml/s 250 kPa:n sivukuormituksessa.

Käyristyneen tai nurjahtaneen pystyojanauhan vedenjohtokyvyn tulee olla vähintään 75 % vastaavan suoran ojanauhan vedenjohtokyvystä. Käyristyneen ojanauhan käyryssäde on 5 mm.

4.3 Suodattimen hyväksymiskriteerit

4.3.1 Mekaaninen tehokkuus

Ohuiden ei-kudottujen geotekstiilisuodattimien tehokkaan huokoskoon tulee olla kitkamaalajeissa (lähinnä keski- ja karkeat siltit)

$$O_{90} < (1,5 - 2,8)d_{50},$$

missä O_{90} on suodattimen tehokas aukkokoko
 d_{50}, d_{10}, d_{60} perusmaan raekokoja.

Kun maapohjan arvioidaan olevan herkkää sisäiselle eroosiolle eli maalajit lähinnä keski- ja karkeita silttejä, tulee tehokkaan huokoskoon olla (varmuuskerroin $\eta > 2,0$, kuva 6)

$$O_{90} < (1,1 - 2,1)d_{50}.$$

Suodatusteknisesti vaikeissa maalajeissa voidaan käyttää myös ehtoa

$$O_{90} < d_{85} \text{ ja samalla } O_{90} < 0.15 \text{ mm}$$

ja muissa maalajiessa

$$O_{90} < 0.15 \text{ mm.}$$

4.3.2 Vedenläpäisevyys

Pystyöjanauhan suodattimen initiaalisen vedenläpäisevyyden (k) tulee olla vähintään 50-kertainen ojituskohteen määräävän maalajin vaakasuuntaiseen vedenläpäisevyyteen verrattuna. Vedenläpäisevyyden vähimmäisarvo on $k = 0,10 \text{ mm/s}$.

Vastaavasti suodattimen initiaalisen permittiivisyyden (Ψ) tulee olla vähintään $5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/s}$.

4.4 Yhteenveto

Pystyjojanauhojen ominaisuuksien määrittäminen laadunvalvonnassa ja niiden hyväksyttävät arvot on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Pystyjojanauhojen ominaisuuksien määrittäminen ja niiden vaaditut arvot.

OMINAISUUS	SYMBOLI	YKSIKKÖ	VAADITTU ARVO		Kokeiden tekeminen ja lukumäärä		
			keskiarvo	vähimmäisarvo	tyyppi-tarkastus	hankekohtainen laadunvalvonta	
Ojanauha							
1 Massa	M_o	g/m	nim.	nim.-10%	≥ 10	3-N	
2 Leveys	B	mm	nim.	nim.-5%	10	3-N	
3 Paksuus (20 kPa)	T_{20}	mm	nim.	nim.-10%	≥ 10	5-N	
4 Paksuus (125 kPa, 30 d)	T_{125}	mm	$0,7 \cdot T_{20}$	$0,7 \cdot T_{20}$	3	2	e1
5 Kokoonpuristuma (125 kPa) välillä 30d - 60 d	$\Delta T_{125, 30}$	mm/30d	<0,05	<0,1	3	2	e1
6 Vetolujuus (kuiva = k)	P_{u1}	kN	1,0	0,9	5	2	e1
7 Vetolujuus (märkä = m)	P_{u2}	kN	1,0	0,9	5		
8 Murtovenymä (k)	ϵ_{u1}	%	15 (30) ¹	15	5	2	e1
9 Murtovenymä (m)	ϵ_{u2}	%	15 (30) ¹	15	5		
10 Vetolujuus taivutettuna (m)	P_{tb}	kN	2,0	1,8	2	1	e1
Suodatin							
11 Paksuus (4 kPa)	T_g	mm	nim.	nim.-10%	≥ 10	5-N	
12 Vetolujuus pitkitt. (m)	P_{u3}	kN/m	3,0	3,0	5		
13 Vetolujuus poikitt. (m)	P_{u4}	kN/m	3,0	3,0	5	2	e1
14 Murtovenymä pitkitt. (m)	ϵ_{u3}	%	15 (30) ¹	15	5		
15 Murtovenymä poikitt. (m)	ϵ_{u4}	%	15 (30) ¹	15	5	2	e1
16 Sauman vetolujuus poikitt. (m)	P_{u5}	kN/m	1,5	1,5	5	2	e1
17 Saumall. suodattimen poikitt. ja leikkaus-murtovenymä (m)	ϵ_{u5}	%	10	10	5	2	e1
Vedenjohtokyky							
$T = 20\text{ °C}$, 125 kPa							
18 $I = 0,33$ ($\Delta h = 100$ mm)	Q_{w1}	ml/s	10	8	3		
19 $I = 0,67$ ($\Delta h = 200$ mm)	Q_{w2}	ml/s	10	8	3		
Suodattimen veden-läpäisevyys , $T = 20\text{ °C}$							
20 k, $\Delta h = 30$ mm	k_1	mm/s	50k _{maa}	0,10	3		
21 k, $\Delta h = 50$ mm	k_2	mm/s	50k _{maa}	0,10	3		
22 permittiivisyys, $v = 10$ mm/s	ϕ_1	l/s	0,0050	0,0050	3		
Suodattimen maa-aineksen pidätyskyky							
23 Tehokas huokoskoko	$O_{90}(D_w)$	mm	$O_{90} < 0,15)^2$		3-4	2	e1
24 Tehokas huokoskoko	O_{95}	mm	$O_{90} < 0,15$ ja $O_{90} < d_{85\text{maa}})^3$		3-4		
			$O_{90} < (1,5 - 2,8)d_{50\text{maa}})^4$				

nim. nimellisarvo, hankekohtaisessa laadunvalvonnassa vertailuarvona on tyyppitarkastuksen mukainen arvo tai nimellisarvo
N näytteiden lukumäärä

e1 kokeet tehdään vain, kun ojanauhan laadun arvioidaan huomattavasti poikkeavan tyyppitarkastuksen mukaisesta laadusta

¹ kun pystyjoja on alttiina routimiselle
² suodatusteknisesti tavanomaisissa maalajeissa
³ suodatusteknisesti vaikeissa silttimaalajeissa
⁴ suodatusteknisesti vaikeissa maalajeissa: lähinnä keski- ja karkeat silttimaalajit

5 PYSTYÖJANAUHOJEN LAADUNVALVONTAMENETTELY JA PYSTYÖJITUSTYÖN VALVONTA

5.1 Tarkoitus

Laadunvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että ojituksessa käytetään vain laatuvaatimukset täyttävää, suunnitelman mukaista ojanauhaa ja että työn suoritus on tarkoituksenmukaista pystyöjen pitkäaikaistoiminnan kannalta.

5.2 Materiaalin laadunvalvonta

5.2.1 Tyypitarkastus

Tyypitarkastuksessa tutkitaan, täyttääkö pystyöjanauha kohdassa 4.4 esitetyt laatuvaatimukset.

Kun suunnitellaan käytettäväksi pystyöjamateriaalia, jonka laatua ei tunneta riittävästi käytettävissä olevien puolueettomien koetulosten perusteella, tulee pystyöjamateriaalille tehdä tyypitarkastus. Tyypitarkastuksessa määritetään tuotteen mekaaniset ja hydrauliset ominaisuudet luvussa 6 esitetyillä laboratoriokokeilla soveltaen suodatusominaisuuksien kokeissa tarvittaessa myös ko. pystyöjituskohteen maalajeja.

Tyypitarkastus tehdään riittävän aikaisin ennen ojituksen aloittamista siten, että tulosten perusteella voidaan valita alusta pitäen kohteeseen parhaiten soveltuva ojanauhatyyppi.

Tyypitarkastusta varten otetaan vähintään viisi ojanauhanäytettä maahan-tuojan tai urakoitsijan varastosta. Näytteenoton ja testauksen suorittaa rakennuttajan hyväksymä puolueeton tutkimuslaitos. Näytteet otetaan satunnaisotoksena kyseisen ojanauhatyypin saatavilla olevia toimitus- tai valmistuseriä mahdollisimman hyvin edustavasti.

5.2.2 Hankekohtainen, työnaikainen laadunvalvonta

Työnaikaisen laadunvalvonnan tarkoitus on varmistaa, että kohteessa käytetään tyypitarkastettua, laatuvaatimukset täyttävää ojanauhamateriaalia ja että materiaalin laatu on riittävän tasaista. Työmaalla tehdään liitteessä 7 esitetyt laadunvalvontatoimenpiteet.

Ojanauhatoimitusten tarkastus

Rakennuttajan edustaja (yhdessä urakoitsijan kanssa) tarkastaa ojanauhaa sen saavuttua työmaalle. Rakennuttajalla on käytettävissään yksityis-

kohtaiset tiedot (tyyppitarkastustulokset ja näytekappale) kyseisestä tuotteesta. Tarkastamisesta tehdään pöytäkirja (liite 11). Pöytäkirjaan merkitään toimituserittäin tunnistetiedot ja tuotteen laatuhavainnot silmämääräisen tarkastuksen perusteella. Tunniste- ja valmistajan tekemän laadunvalvonnan tulosten hankkimisesta vastaa urakoitsija.

Näytteliden ottaminen

Työnaikainen laadunvalvonta toteutetaan seuraamalla materiaalin laatua sekä silmämääräisesti että työmaalta otettujen näytteiden perusteella. Ojanauhanäytteitä otetaan seuraavasti:

- 1) yksi näyte-erä (5 kpl) välittömästi pystyjitustyön alussa ja jokaisesta työmaalle toimitetusta erästä
- 2) ojituksen edistyessä yksi näyte-erä (5 kpl) noin 50 000 ojam välein
- 3) havaittaessa ojanauhassa vajaalaatuisuutta tai epäiltäessä liiallista laadunvaihtelua.

Näytteet (erä 5 kpl) otetaan ojituskoneen suojaputken alapäästä parhaillaan asennettavasta nauharullasta, yksi näyte rullan lopusta (sisältä) ja muut näytteet rullan satunnaisista kohdista. Jokainen näyte otetaan eri nauharullasta. Näytekappaleiden pituus on noin 5 m. Näyteenottotiedot merkitään liitteessä 8 olevalle lomakkeelle, joka liitetään näytteiden mukaan.

Rakennuttaja tai urakoitsija toimittaa ottamansa näytteet puolueettomalle laadunvalvojalle tuotteen tarkastamista ja mahdollisia laadunvalvontakokeita varten.

Otettuja näytteitä verrataan kyseiseen tyyppitarkastettuun ojanauhaan visuaalisesti ja tekemällä tarvittavat mittaukset. Ojitustyön alussa otetuille näytteille tehdään harkinnan mukaan myös luvun 6 mukaisia laboratoriokokeita siinä tapauksessa, että ojanauhan samanlaatuisuudesta tyyppitarkastettuun nauhaan verrattuna ei muutoin voida varmistua. Mikäli työmaalla siirrytään käyttämään tyyppitarkastamatonta ojanauhaa, tehdään siitä otetuille näytteille kaikki tyyppitarkastukseen liittyvät kokeet.

Laadun tasaisuuden tarkkailu

Ojanauhan laadun tasaisuuden tarkkailusta vastaa urakoitsija. Tavanomaisen, jatkuvan tarkkailun lisäksi varmistetaan nauhan laatu vertaamalla silmämääräisesti vertailukappaleeseen (jonka laatu tunnetaan) vähintään kerran noin 10000 asennettua ojametriä kohti. Vertailumenetelmät on esitetty liitteessä 7. Tarkastuksesta tehdään pöytäkirja (lomakke liitteessä 8).

Ojanauhan varastointi

Pystyojanauha tulee varastoida siten, että se säilyttää alkuperäiset fysikaali-

set ominaisuutensa ja ehjyytensä. Tämä edellyttää suojausta ultraviolettisäteilyä ja jäätymistä vastaan sekä huolehtimista siitä, että nauharullat eivät vaurioidu tai likaannu varastoinnin ja kuljetusten aikana.

Varastointi tarkastetaan samalla kertaa näytteenoton kanssa.

Varaston tarkastuksessa todetaan ainakin

- nauhaerän tunnistetiedot: rullanumerot, valmistuspäivämäärä ja -paikka, tuotteen toimittaja
- varastointiaika työmaalla
- varastoitu määrä
- materiaalin suojaus valolta, kun varastointiaika on yli 1 kk
- suojaus kosteutta ja jäätymistä vastaan
- materiaalin ehjyys ja tasalaatuisuus pistokokeina silmämääräisesti rullan molemmista päistä

Varaston tarkastaminen ja tehdyt havainnot merkitään erilliselle pöytäkirjalomakkeelle (liite 11) sekä työmaapäiväkirjaan.

5.3 Pystyjituskoneelta vaadittavat ominaisuudet

Ojituskoneen suojaputken, rullatelineen ja nauhan kulkuradan tulee olla so-piva käytettävälle ojanauhalle.

Nauhan ohjausrullien minimisäteen tulee olla ko. ojanauhan valmistajan antamien ohjeiden mukainen. Pienin sallittu ohjausrullan säde $R_{\min} = 50$ mm.

Ojanauha tulee ohjata rullalta suojaputken läpi siten, että nauha ei pääse kiertymään, taittumaan eikä repeämään ja niin, että nauhaan kohdistuva veto jakautuu ojaprofiilille mahdollisimman tasaisesti. Nauhan kulkuradan sisäpinnan tulee olla sileä ja aukkojen ja ohjauslenkkien reunojen pyöristettyjä. Ojanauha on suositeltavaa johtaa ylös putkessa (esim. $D \sim 120$ mm muoviputki). Nauharullan kelan reunat voivat olla levymäiset tai avoimet, pyöreästä tai pyöreäkulmaisesta putkesta valmistetut. Nauharullan sisämitan tulee sopia kelalle siten, että rulla ei pääse pyöriessään heittelemään korkeus- tai sivusuunnassa.

Nauharullan ja ohjausrullien pyörimiskitka on pidettävä pienenä ja kitkan suuruutta säännöllisesti tarkkailtava. Nauhan normaali kulku voidaan todeta esimerkiksi vetämällä nauhaa käsin kelalta suojaputken läpi, jolloin nauhan tulee kulkea kevyesti.

Suojaputkea upotettaessa tiivis täyttökerros tai muu ilmenevä kovempi maakerros, kivi tai muu upotusvastusta lisäävä este on pyrittävä ohittamaan varovasti ja siten välttämään ankkurilevyn vaurioituminen ja suojaputken sysäyksenomaiset liikkeet.

Veden jäätyminen suojaputkeen on estettävä.

Suojaputken nosto aloitetaan sysäyksiä välttäen, ja noston tulisi olla tasaista ja yhtäjaksoista.

5.4 Ojitustyön laadunvalvonta

Pystyojituksen onnistunut toiminta edellyttää kelvollisen ojanauhan käyttämisen lisäksi asianmukaista asennustyön suoritusta. Päähuomio tulee kiinnittää ojanauhan ehjänä säilymiseen, maapohjan tarpeettoman häiriintymisen välttämiseen ja siihen, että pystyojien sijainti ja ojitussyvyys toteutuu suunnitelman mukaisesti.

5.4.1 Ankkurilevy ja sen kiinnitys

Ennen ojitustyön aloittamista urakoitsijan tulee varmistaa, että käytettäväksi suunniteltu ankkurilevy soveltuu kohteen pohjasuhteisiin, eli että, sen ankkurointikyky on riittävä ja että se ei aiheuta upotuksen aikana tarpeetonta maan häiriintymistä. Tulee käyttää ankkurilevyä, jonka pinta-ala (pystysuora projektio deformatuneena) ei ole merkittävästi suojaputken poikkipinta-alaa suurempi. Ankkurilevyn leveyden ojanauhan leveyssuunnassa tulee olla enintään 170 mm. Ankkuroinnin kannalta vaikeissa pohjasuhteissa voidaan ankkurilevyjä vähän suurentaa. Ankkurilevyn pinta-alan tulisi olla suojaputken poikkipinta-alaan nähden enintään 2,5-kertainen tai enintään 200 cm².

Tekemällä koeojia varmistetaan, että ankkurilevy deformatuu hallitusti suojaputken ympärille ja että levy luotettavasti ankkuroi ojanauhan tavoitesyvyyden pohjasuhteita edustavassa maakerroksessa.

Ojanauhan kiinnityksen ja deformatuneen ankkurilevyn lenkin tulee kestää 1,0 kN:n lyhytaikainen vetovoima irtaamatta.

Urakoitsijan tulee ennen työn aloittamista hyväksyttää rakennuttajalla käyttämänsä ankkurilevyn ja ojanauhan kiinnitystapa. Kiinnitystavan tulee olla helppo ja nopea siten, että kiinnityksen suoritus ei vaadi erikoista huolellisuutta tai taitoa ja että kiinnityksen onnistuminen on heti todettavissa. Ojanauhan ankkuroitumisen varmistamiseksi nauha pidetään vetämällä kireällä suojaputken noston aikana.

Ankkurilevyn tulee irrota suojaputken kärjestä välittömästi aloitettaessa suojaputken nosto. Ankkurilevyn geoteknisen vetokapasiteetin tulee olla riittävä suojaputken nostovaiheessa levyyn kohdistuviin vetotoimiin nähden siten, että ojan alapään nouseminen estyy. Ankkurilevyn vetokapasiteetin tulee mobilisoidua riittävän pienellä siirtymällä (enintään 50 mm) myös pehmeässä maakerroksessa.

Mikäli ankkurointi epäonnistuu tavoitesyvyydessä, tehdään viereen korvaava oja.

5.4.2 Ojanauhan jatkaminen

Pystyojanauhan jatkoksen tulee vastata toiminnaltaan mahdollisimman hyvin jatkamatonta ojanauhaa. Veden pitää voida virrata esteettä jatkoksen lävitse. Jatkos ei myöskään saa aiheuttaa ojan tukkeutumista, eli suodattimen jatkoksen tulee olla riittävän tiivis.

Urakoitsijan tulee tehdä ojanauhan jatkos rakennuttajan hyväksymällä tavalla. Jatkoksen mekaaninen lujuus voidaan koestaa työmaalla kiinnittämällä nauhan toinen pää kiinteästi ja vetämällä lyhytaikaisella vähintään 1 kN:n voimalla esimerkiksi jousivaakaa käyttäen. Jatkoksen tulee kestää koeveto repeytymättä.

Suosittelava jatkoksen tekotapa on asentaa nauharullan loppupää uuden rullan alkupään sisään noin 200 mm matkalta mieluiten leikkaamatta alkupään suodatinta sivulta auki. Kiinnitys voidaan tehdä niittaamalla tasaisesti koko limitysalalta ja lisäksi tiivistäen suodattimen leikattu reuna tiheällä niittauksella. Niittauskoneen tehon tulee olla sopiva siten, että niitit eivät purista ydinosaan kokoon.

5.4.3 Pystyojanauhan suojaputkelle asetettavat vaatimukset

Pystyojan asennuksessa käytettävän suojaputken tulee olla

- a) riittävän jäykkä nurjahdus ja kulumisen huomioiden niin, että pysty- ja ei liiallisesti kallistu tai käyristy upotettaessa,
- b) poikkipinta-alaltaan pieni ($A < 85 \text{ cm}^2$) maapohjan häiriintymisen vähentämiseksi ja
- c) suora ja sisäpinnaltaan sileä.

Suojaputken kärjen tulee olla muotoiltu ankkurilevyn deformatuminen huomioiden siten, että upotettaessa maan sivusiirtymät jäävät mahdollisimman vähäisiksi.

Suojaputkeen ei saa tunkeutua maata. Jään muodostuminen suojaputkeen on pyrittävä estämään ja sinne kerääntynyt jää on poistettava riittävän usein.

5.4.4 Pystyojituspöytäkirja

Ojitustyön toteutumista suunnitelman mukaisena valvotaan urakoitsijan tai rakennuttajan pitämän pystyojituspöytäkirjan (lomake liitteenä 10) avulla. Pöytäkirjaan merkitään ainakin

- käytettävän ojanauhan tyyppi ja toimituserä
- ojitussyvyys riittävän tiheästi (suojaputken suurin syvyys maanpinnasta) ja vastaava ojan sijainti (paalulukema)
- ankkurilevyn mittatiedot

- sijainti- ja kaltevuuspoikkeamat silloin, kun ne ylittävät sallitut arvot
- toimenpiteet poikkeustilanteissa: epäonnistuneiden ojien korvaaminen, tavoitetasosta poikkeaminen ja sen syyt sekä jatkotoimenpiteet
- ojanauhassa mahdollisesti havaittu vajaalaatuisuus ja jatkotoimenpiteet
- otetut nauhanäytteet ja maininta niiden laaduntarkastuksen tuloksista
- merkintä nauhan laaduntarkkailun suorittamisesta (laaduntarkkailun havainnot merkitään erilliselle pöytäkirjalomakkeelle, liite 8)

6 PYSTYÖJANAUHOJEN LABORATORIOKOKKEET TYYPPITARKASTUKSESSA

6.1 Pystyöjanauhan lujuus ja elastisuus

6.1.1 Tarkoitus

Tässä ohjeessa esitetään menetelmät, joilla pystyöjanauhan lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet voidaan määrittää sekä ko. ominaisuuksille asetetut vaatimukset.

Menetelmät soveltuvat kaikille pystyöjanauhatyypeille, joiden leveys on enintään 105 mm. Tämä ohje sisältää voiman ja muodonmuutoksen mittausten menetelmät sekä mittaustuloksille sovellettavat laskentamenetelmät.

6.1.2 Käyttöalue

Ohje sisältää seuraavat testausmenetelmät

Koe A. pystyöjanauhan vetokoe

Koe B. ojanauhan suodattimen vetokoe

Koe C. ojanauhan vetokoe taivutettuna

6.1.3 Viitteet

ISO/DIS 10319 Geotextiles, Wide-width tensile test. International Organization for Standardization 1991.

6.1.4 Määritelmät

Esikuorma

Ennen vetokokeita (A, B) ojanauhakoekappaleen oikaisemiseen käytettävä voima, jonka suuruus on 50 N ja vaikutusaika 60 s.

Vetolujuus

Suurin vetokokeen aikana mitattu voima, kN (kokeessa A näytteen poikkeileikkausta kohti), tai suurin mitattu voima, kN/m (koe B).

Mittapituus

Kun koekappale kiinnitetään vetokokeeseen puristusleuoilla, on mittapituus sama kuin leukojen välinen etäisyys. Mittapituuden alkuarvo on 100 mm.

Vaihtoehtoisesti (käytettäessä muuntotyyppistä koekappaleen kiinnitystä) mittapituus on kahden koekappaleeseen merkityn mittapisteen välinen etäisyys leukojen liikesuunnassa.

Mittapituuden pitenemä on mitattu mittapisteen etäisyyden muutos, josta on vähennetty esikuorman aiheuttama pitenemä.

Venymä

Vetokokeen aikana havaitun mittapituuden pitenemän suhde alkuperäiseen mittapituuteen (%).

Venymänopeus

Venymänopeus on vetokokeen leukojen välisen etäisyyden (mittapisteen välisen etäisyyden) tasainen kasvunopeus ilmaistuna %-osuutena alkuperäisestä leukojen (mittapisteen) välisestä etäisyydestä.

6.1.5 Testauslaitteet

Vetokoe

Vetokokeen leukojen liikenopeuden tulee olla tasainen ja (koekappaleen pituuden mukaan) säädettävissä. Kokeen leukojen leveyden tulee olla vähintään 100 mm (eli sama kuin pystyöjanauhan leveys).

Koekappale voidaan kiinnittää leukoihin puristamalla tai käyttämällä kiila-keuloja. Leukojen tulee olla niin jäykät, että puristusvoima jakautuu tasaisesti leukojen puristuspinnan koko alalle. Kitkapintojen tulee olla yhden-suuntaiset.

Leukojen puristusvoiman tulee olla riittävä koekappaleen luistamisen estämiseksi. Puristusvoima ei kuitenkaan saa olla niin suuri, että koekappaleeseen tulee koetuloksiin vaikuttavia muodonmuutoksia tai vaurioita.

Venymän mittaus

Koekappaleen venymä mitataan keskimääräisenä arvona vetokokeen leukojen etäisyyden muutoksena sillä edellytyksellä, että koekappale ei pääse liu-

kumaan leukojen suhteen.

Vaihtoehtoisesti (mikäli koekappaleen liukumaa leukojen suhteen ei voida täysin estää), koekappaleeseen merkitään sen leukojen välisestä symmetriapistteestä samalle etäisyydelle (50 mm) kaksi pistettä, joiden välinen etäisyys eli mittapituus on 100 mm leukojen liikesuunnassa. Venymä mitataan keskimääräisenä arvona mittapituuden muutoksen avulla.

6.2 Pystyojanauhan vetokokeen suoritus

6.2.1 Koekappaleet

Koekappaleiden pituus on 200 mm. Koekappaleet leikataan kohtisuorasti ojanauhan pituussuuntaa vastaan.

Rinnakkaisten koekappaleiden vähimmäismäärä on 5 kpl. Koekappaleet otetaan tutkittavasta ojanauhaerästä tai hankekohtaisessa laadunvarmistuksessa näyte-erästä satunnaisotoksena siten, että niiden edustavuus on mahdollisimman hyvä.

6.2.2 Koeolosuhteet

Vetokokeet tehdään sekä kuiville että märille koekappaleille (5 + 5 kpl). Koe-
lämpötila on 20 ± 2 °C ja suhteellinen kosteus 65 ± 2 %. Kuivien koekappaleiden annetaan vakioitua ko. olosuhteissa. Märkiä koekappaleita pidetään 20 ± 2 °C veteen upotettuina vähintään 24 h ajan välittömästi ennen vetokokeita.

6.2.3 Kokeen suoritus

Ojanauhanäyte (pituus 200 mm) asetetaan pituussuunnassaan tarkalleen yhdensuuntaiseksi vetokojeen liikesuunnan kanssa. Leukaväliksi säädetään 100 mm. Koekappale asetetaan leukojen väliin keskeisesti. Koekappaletta vedetään käsin leukoja kiristettäessä siten, että koekappale on tasomainen koko alaltaan vetokoetta aloitettaessa.

Vetokojeen leuat kiristetään tiukkuuteen, joka riittää estämään koekappaleen ja leuan välisen liukuman maksimivetovoimalla. Liukuman kontrolloimiseksi koekappaleeseen vedetään ohuet viivat leukojen reunoja pitkin.

Ennen varsinaista koevetoa koekappaleen vetovoima nostetaan esikuormaan eli 50 N:iin ja annetaan sen vaikuttaa 1 min ajan. Esikuormaa vastaava venymä säädetään nolaksi, minkä jälkeen suoritetaan varsinainen koeveto.

Vetonopeutena käytetään 20%/min eli yleensä 20 mm/min.

Vetokokeen aikana voima ja pituudenmuutos rekisteröidään jatkuvana kuvaajana tai pistemäisesti niin tiheästi, että kuvaaja on luotettavasti piirrettävissä. Kokeessa saavutettu suurin vetovoima ja sitä vastaava (pituudenmuutos) venymä merkitään kuvaajaan numeroarvoina. Vetokoetta jatketaan koekappaleen murtumiseen tai vaihtoehtoisesti (kun selvää murtumakohtaa ei voida havaita) 60 mm pituudenmuutokseen saakka. Kun saavutetaan voiman suurin arvo, vedetään näytteeseen ohuet viivat leukojen reunoja pitkin. Kun koekappale alkaa murtua, rekisteröidään murtovenymän arvo.

Voima mitataan 0,2 %:n tarkkuudella ja venymä (%) yhden desimaalin tarkkuudella.

Jos koekappaleen murtuminen tapahtuu lähempänä kuin 5 mm leukojen reunasta ja jos vastaava murtokuorma on alle 50 % muissa kokeissa saadusta keskimääräisestä murtokuormasta, on ko. koetulos hylättävä ja koe uusittava. Koetuloksen hylkäämisen perusteena on koekappaleen murtuminen leuan aiheuttamaksi katsottavan vaurion johdosta.

6.2.4 Koetulosten arvostelu

Vetolujuus

Pystyöjanauhan vetolujuus (P_{u1} kuivalla näytteelle ja P_{u2} märällä näytteellä) on suurin kokeen aikana mitattu voima. Vetolujuuden hyväksyttävä vähimmäisarvo on 1,0 kN.

Venymä

Venymä (ϵ) lasketaan kaavalla

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L},$$

missä ΔL on mitattu pituudenmuutos
 L alkuperäinen mittapituus (leukaväli).

Murtokuormaa tai suurinta mitattua voimaa vastaavan venymän tulee olla vähintään 15 %. 1,0 kN:n vetovoimalla venymän tulee olla vähemmän kuin 15 %.

Suodattimen rakenteen murtumista vastaavan venymän tulee olla vähintään 15 %.

Jos pystyöja voi päästä käyttöolosuhteissa jäätymään, tulee ojanauhan ja suodattimen murtovenymien olla vähintään 30 %.

6.2.5 Lujuuskokeiden raportointi

Vetokokeen raportoinnista esitetään seuraavat kohdat

1. ohjeet, joita on noudatettu ja mahdolliset poikkeamat ohjeiden mukaisesta koemenettelystä
2. testattujen koekappaleiden yksityiskohtaiset tiedot (mm. näytteenotto)
3. vetolujuuden keskiarvo (ja -hajonta) sekä rinnakkaiskokeiden määrä
4. vetolujuutta vastaavan venymän keskiarvo ja (-hajonta)
5. 1,0 kN:n voimaa vastaavan venymän keskiarvo (ja -hajonta)
6. voima-venymä-kuvaajat kokonaisuudessaan
7. koeolosuhteet
 - koekappaleet kuivia/märkiä
 - lämpötila
8. vetokojeen
 - tyyppi ja malli
 - leukojen tyyppi ja mitat
 - leukavälin alkuarvo
 - vetonopeus (%/min)
- (9. tarvittaessa koekappaleen venymä leukojen vieressä liukuman arvioimiseksi)

6.3 Kokoonpuristuvuuskokeet

6.3.1 Kokelden suoritus

Kokoonpuristuvuuskokeet tehdään vähintään kolmelle näyte-erästä satunnaisotoksena valitulle koekappaleelle. Koekappaleet pidetään kokeissa 20 ± 2 °C veteen upotettuina. Kaikkien näytekappaleiden alkupaksuus mitataan 20 kPa:n kuormituksella.

Kaksi koekappaletta kuormitetaan sellaisenaan ja yksi koekappale hiekkakerroksen sisällä (10 mm:n tasaisesti tiivistetty kerros 0,5...1,2 mm:n rae-koon hiekkaa koekappaleen ylä- sekä että alapuolella). Kuormituspintana on $D = 90 - 100$ mm ympyrä.

Kaksi koekappaletta (ilman hiekkakerroksia) kuormitetaan kahta kuormitusporrasta käyttäen, joista ensimmäinen on esikuormitus ja toinen varsinainen mitoittava kuormitus. Esikuormituksena käytetään 20 kPa ja ohjeellisena mi

toittavana kuormituksena 125 kPa. Esikuormituksen kesto aika on 1 h ja mitoitettavan kuormituksen kesto aika 60 vrk (vähimmäiskesto aika 30 vrk). Mitoitustakuorma valitaan ottaen huomioon ojanauhan käyttöolosuhteissa siihen kohdistuva maanpaine.

Hiekkakerros-näyte-hiekkakerros -yhdistelmä (1 kpl) kuormitetaan 20 ja 50 kPa:n kuormitusportailta, kummallakin 30 min. ajan. Tämän jälkeen kuormitus nostetaan 125 kPa:iin, jonka kesto aika on 60 d.

Hiekan kokoonpuristuvuuden selvittämiseksi tehdään yksi vertaileva ödometrikoe 20 mm hiekkakerrokselle. Hiekkakerrosten esitiivistäminen on tehtävä hyvin huolellisesti mahdollisimman samankaltaisen tuloksen varmistamiseksi. Kaikissa kokeissa koekappaleet ja -hiekkakerrokset ovat veteen upotettuina.

Kokoonpuristuma luetaan kokeen alussa samoin aikaväleihin kuin tavanomaisessa ödometrikokeessa. Ödometrikoe jatketaan 60 vrk tai kunnes kokoonpuristumisnopeus on enintään 0,05 mm/30 vrk.

6.3.2 Tulosten käsittely

Tulokset esitetään koekappaleiden (3 kpl) kokoonpuristuma-aika- ja paksuus-aika -kuvaajina. Lopulliset koekappaleiden paksuudet 60 vrk:n kuormitusajan jälkeen esitetään sekä lasketaan suhteellisen kokoonpuristuman arvo.

Hiekka-näyte-hiekka -yhdistelmän osalta koekappaleen lopullinen paksuus ($T_{125,60}$) lasketaan kaavalla

$$T_{125,60} = T_{20} - [d_{H125} - \delta_{H125}] - (\delta_{H125} - \delta_{H20}),$$

missä T_{20} on koekappaleen alkupaksuus 20 kPa:n kuormituksella
 δ_{H125} hiekka-näyte-hiekka -yhdistelmän lopullinen kokoonpuristuma 125 kPa kuormituksella, kun $t = 60d$
 δ_{H125} hiekka-näyte-hiekka -yhdistelmän kokoonpuristuma 20 kPa kuormituksella, $t = 30 \text{ min}$
 δ_{H125} 20 mm:n hiekkakerroksen kokoonpuristuma 125 kPa, $t = 60 d$
 δ_{H20} 20 mm:n hiekkakerroksen kokoonpuristuma 20 kPa kuormituksella, $t = 30 \text{ min}$

6.4 Pystyjojan suodattimen vetokokeet

6.4.1 Pituussuuntaiset kokeet

6.4.1.1 Koekappaleet

Näytteet valitaan satunnaisotoksena tutkittavasta ojanauhaerästä. Suodatinnäytteiden pituus on 200 mm ojanauhan pituussuunnassa. Jos suodatin on kiinnitetty ydinosaan, leikataan suodatinnäyte mahdollisimman leveänä kiinnityskohdan reunoja pitkin. Koekappaleet leikataan tasaleveiksi 1 mm:n tarkkuudella ja mitataan leveys(B). Ohjeellinen leveys on 100 mm.

6.4.1.2 Vetokokeet

Suodatinnäytteille tehdään pituussuuntaiset vetokokeet siinä tapauksessa, että suodattimen lujuusominaisuuksia ei saada esiin pystyjojanauhan veto-koetuloksista.

Vetokokeet suoritetaan samalla tavalla ja laitteilla kuin pystyjojanauhalle (esitetty kohdassa 6.2.3).

6.4.1.3 Tulosten käsittely ja arvostelu

Suodattimen pituussuuntainen vetolujuus P_{u3} (kN/m) lasketaan kaavalla

$$P_{u3} = \frac{F_{\max}}{B},$$

missä F_{\max} on suurin mitattu vetovoima, kN
B koekappaleen leveys, m

Suodatinmateriaalin pituussuuntainen vähimmäisvetolujuus on 3 kN/m. Suodattimen rakenteen murtovenymän tulee olla vähintään 15 %.

6.4.2 Poikittaissuuntaiset kokeet

6.4.2.1 Koekappaleet

Tutkittavasta ojanauhaerästä leikataan satunnaisotoksena kohtisuorasti pituussuuntaa vastaan 100 mm pätkiä yleensä 10 kpl. Koekappaleiden määrä suhteutetaan mäyte-erän suuruuteen.

Suodatinkoekappaleet irroitetaan ojanauhan ydinosasta mahdollisimman leveinä (vähintään 90 mm). Viisi suodatinnäytettä halkaistaan poistamalla suodattimen sauma. Muihin viiteen koekappaleeseen jätetään keskelle suodattimen sauma (joka voi olla samalla suodattimen ja ydinosan liitossauma).

Koekappaleen minimimitat ovat 100 mm x 90 mm.

6.4.2.2 Vetokokeet

Koekappale asetetaan vetokojeeseen siten, että vetosuunta on kohtisuorassa nauhan pituussuuntaa vastaan. Koekappaleen leveys vetokojeessa on 100 mm, pituus vetosuunnassa vähintään 90 mm. Saumallisen koekappaleen sauma asetetaan vaakatasoon keskeisesti leukoihin nähden.

Vetokojeen leukaväli on 50 mm ja vetonopeus 10 mm/min. Koekappale oikaistaan käsin ennen leukojen kiristämistä. Vetokoe jatketaan murtumiseen saakka. Suodattimen rakenteen murtumista (aukkokoon huomattavan kasvun alkua) vastaava venymä rekisteröidään. Muilta osin noudatetaan kohdassa 6.2.3 esitettyjä ohjeita. Kokeet tehdään ensisijaisesti märille koekappaleille (kohta 6.2.2).

6.4.2.3 Tulosten käsittely ja arvostelu

Vetolujuus lasketaan kuten kohdassa 6.4.1.3 Saumattoman suodatinmateriaalin poikittaissuuntaisen vetolujuuden tulee olla vähintään 3 kN/m. Saumallisen suodatinmateriaalin poikittaisen vetolujuuden tulee olla vähintään 1,5 kN/m.

Saumattoman suodattimen rakenteen vetomurtoa vastaavan venymän tulee olla vähintään 15 %. Sauman murtuessa tulee saumallisen koekappaleen keskimääräisen venymän olla vähintään 10 %. Saumallisen suodattimen sauman suuntaisen leikkausmurtoa vastaavan keskimääräisen venymän tulee olla vähintään 10 %.

Suodattimen vetokokeiden tulokset esitetään kuten kohdassa 6.2.5 lukuunottamatta alakohtaa 5.

6.5 Pystyöjanauhan vetokoe taivutettuna

6.5.1 Tarkoitus

Taivutusvetokokeella tutkitaan pystyöjanauhan muodonmuutoksen sietokykyä ja vetolujuutta taivutettuna. Kokeella kuvataan ojanauhan rasituksia ankkurilevyn kiinnityskohdassa ja ojanauhan muodonmuutoksia sen nurjah- taessa maapohjan painumien johdosta. Kokeella voidaan tarvittaessa selvit-

tää myös ojanauhan jatkoksen lujuutta.

6.5.2 Koekappaleet

Ojanauhaerästä valitaan satunnaisotoksena 3 kpl 500 mm pitkiä koekappaleita. Koekappaleita säilytetään ennen kokeita 20 ± 2 °C veteen upotettuina vähintään 24 h ajan.

6.5.3 Kokeen suoritus

Taivutusvetokokeessa käytetään erityisiä vetoleukoja, joissa ojanauhan käyrityssäde on 7.5 mm (tarvittaessa säädettävissä).

Koekappaleen päät kiinnitetään toisiinsa puristuskappaleen avulla. Päiden tulee olla kiinnityskohdassa yhdensuuntaiset. Ojanauhalenkin piirin pituus on noin 440 mm. Ojanauhalenkki asennetaan keskeisesti vetokojeen leukoihin. Leukaväliksi asetetaan 200 ± 10 mm.

Vetonopeutena käytetään 20 mm/min. Vetovoimaa lisätään 2,0 kN:iin saakka, ja 2,0 kN:n vakiovoiman annetaan vaikuttaa yhdellä koekappaleella 20 minuutin ja kahdella koekappaleella 1 minuutin ajan. Kuormituksen aikana tarkkaillaan ojanauhan muodonmuutoksia taivutuskohdissa. Venymää mitataan jatkuvasti keskimääräisenä arvona (leukojen akseleiden etäisyyden muutoksena). Tuloksena esitetään voima-venymä-kuvaaja koko kuormitusajalta.

Kuorman poiston jälkeen havaitaan ojanauhaan syntyneet muodonmuutokset ja mahdolliset vauriot. Jos ojanauha on selvästi kokoonpuristunut taivutuskohdissa, mitataan paksuus ko. kohdissa siten, että tulosta voidaan vertailla suoran ojanauhan paksuuteen.

Tarvittaessa taivutusvetokokeita jatketaan koekappaleiden murtumiseen saakka.

6.6 Pystyojanauhan vedenjohtokyvyn määrittäminen

6.6.1 Tarkoitus ja periaate

Tässä ohjeessa esitetään menetelmä (enintään noin 100 mm leveän) pysty- ojanauhan pituussuuntaisen vedenjohtokyvyn määrittämiseksi ojanauhan ollessa mitoittavan poikittaisen kuormituksen alaisena tai ojanauhan kokoonpuristuman ollessa ko. mitoituskauormitusta vastaava. Sovelletavan mitoituskauormituksen ja mittausvirtaaman arvot valitaan siten, että ne riittävän hyvin kuvaavat ojan tapauskohtaisia toimintaolosuhteita. Ohjeellinen kauormitus on 125 kPa. Virtaus oletetaan laminaariseksi.

6.6.2 Vilitteet

Oostveen, J. P. and Troost, G. H., Discharge index tests on vertical drains. 4th International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products. The Hague, Netherlands 1990.

ASTM Designation: D4716-87. Standard Test Method for Constant Head Hydraulic Transmissivity of Geotextiles and Geotextile Related Products. Approved August 19, 1987.

6.6.3 Määritelmät

Vedenjohtokyky, q_w [l/s] on pystyjojanauhan poikkileikkauksen läpi ojan pituussuunnassa virtaava vesimäärä aikayksikössä tietyllä hydraulisen gradientin arvolla.

Hydraulinen gradientti, dh/dl [-], on hydrostaattisen paineen muutos (painehäviö) virtauskanavan vaakasuoraa pituusyksikköä kohti.

Laminaarinen virtaus. Laminaarisessa virtauksessa vesipartikkeleiden liike on valtaosaltaan yhdensuuntaista. Laminaarisessa virtauksessa syntyvä painehäviö on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen.

6.6.4 Koelaitteet

Vedenjohtokyvyn mittaukseen käytettävällä laitteella tulee olla seuraavat ominaisuudet

- yläpuolisen ja alapuolisen vesisäiliön leveyden tulee olla vähintään 100 mm eli pystyjojanäytteen levyinen ja yläpuolisen säiliön korkeuden vähintään 400 mm
- pystyjojanäytteen poikittaissuuntaisen, tasaisen kuormituksen tulee olla säädettävissä välillä 0 - 250 kPa

Muut laitteet ja tarvikkeet

- pystyjojanäytteen paksuuden mittaukseen mittakello (0,01 mm tarkkuus)
- läpivirranneen veden 30 s aikana virranneelle vesimäärälle riittävä mitta-astia
- laitteet tai kemikaalit ilman poistamiseen vedestä
- sekuntikello
- elastista tiivistysmassaa (vettä läpäisemätöntä ja veteen liukenemätöntä)

Taivutettuja koekappaleita varten tarvitaan lisäksi välilevyt, 2 kpl (paksuus 5

mm, leveys 100 mm, pituus 305 mm, levymateriaali vettä läpäisemätöntä ainetta, esim. PE-muovia) sekä ohutta, sitkeätä muovikelmua koekappaleen ympäröimiseen.

6.6.5 Koekappaleet

Koekappaleet otetaan tutkittavasta ojanauhaerästä satunnaisotoksena. Koekappaleiden määrä suhteutetaan ojanauhaerän suuruuteen. Rinnakkaisten koekappaleiden määrä on 3 kpl.

Suoria koekappaleita käytettäessä on ojanauhanäytteiden pituus 300 mm. Taivutettuja koekappaleita käytettäessä on näytteiden pituus 920 ± 10 mm. Näytteet leikataan kohtisuorasti ojanauhan pituussuuntaa vastaan siten, että leikkauskohdassa nauhan poikkileikkaukseen ei tule muodonmuutoksia.

Koekappaleiden leveys voi olla enintään 100 mm, kuitenkin vähintään 90 mm.

Ojanauhaerästä otetaan lisäksi välittömästi vedenjohtokyvyn koekappaleiden vierestä näytteet kokoonpuristuvuuden määrittystä varten silloin, kun vedenjohtokokeen aikana ei mitata koekappaleeseen kohdistuvaa sivukuormaa, vaan pelkästään koekappaleen paksuus kokoonpuristuma (paksuus).

6.6.6 Vedenjohtokykykokeet

6.6.6.1 Suorien koekappaleiden asentaminen kojeeseen

Koekappale ($L = 300$ mm) asetetaan kojeen virtauskanavaan. Jos koekappaleen leveys on alle 100 mm, täytetään koekappaleen ja virtauskanavan seinämän välinen tyhjä tila koekappaleen koko paksuudelta joustavalla, vettä läpäisemättömällä massalla kanavan 300 mm:n pituudelta. Massan tulee olla kokeen jälkeen helposti irroitettavaa.

Koekappaleen paksuus säädetään tasaisesti koko alalta yhtä suureksi kuin ödometrikokeista saatu vertailevan koekappaleen paksuuden T_{125} (vähintään 30 d) pienin arvo. Paksuus tarkistetaan koekappaleen kaikkien kulmien kohdilta.

6.6.6.2 Taivutettujen koekappaleiden asentaminen kojeeseen

Koekappale (pituus noin 920 mm) asetetaan kojeen virtauskanavaan kolmeksi kerrokseksi välilevyjä hyväksikäyttäen. Koekappale ympäröidään koko pituudeltaan ohuella muovikelmulla, jonka sauma tiivistetään läpäisemättömäksi. Koekappaleen päihin muovikeltu on kiinnitettävä siten, että kelmua ei jää ojaprofiilin eteen. Koekappale taivutetaan välilevyjen muotoon siten, että taivutuskohtiin ei jää löyhää. Virtauskanavan ylä- ja alapuolinen

aukko tiivistetään siten, että vettä pääsee virtaamaan vain koekappaleen päiden poikkileikkauksen kautta.

Taivutettua koekappaletta kuormitetaan tasaisesti siten, että sen eri kerrosten **keskimääräinen** paksuus on yhtä suuri kuin ödometrikokeiden mukainen paksuus 125 kPa:n kuormituksella (kuormitusaika vähintään 30 d).

6.6.6.3 Vedenjohtokykykokeen suoritus

Vedenjohtokykykokeen aikana mitataan samanaikaisesti vedenpaine-ero koekappaleen päiden välillä ja virtaaman määrä koekappaleen läpi. Mittauksen aikana virtauksen tulee olla stationääristä, jolloin paine-ero ja virtaama ovat stabiilit.

Yläpuolisen säiliön ylivuotoputken korkeutta muuttamalla säädetään virtaamaa. Putken korkeussäädön jälkeen annetaan virtauksen jonkin aikaa vakioitua, mitataan virtaama, säädetään putken korkeutta tarkemmin halutun virtaaman aikaansaamiseksi. Virtaama lasketaan 3 - 5 (normaalisti 30 s kestävän) mittauksen keskiarvona.

Virtaamat mitataan paine-eron arvoilla 50, 100 ja 200 mm. Vaihtoehtoisesti voidaan mitata paine-erot virtaaman arvoilla $Q = 5, 10$ ja 20 ml/s.

Paine-ero mitataan 1 mm:n tarkkuudella. Virtaama määritetään punnitsemalla 30 s aikana läpivirranneen veden määrä.

Kokeessa käytetään 20 ± 2 °C puhdasta vettä, josta on poistettu ilma. Ennen mittauksia koekappaleeseen jääneiden ilmakuplien on annettava poistua veden mukana. Varsinkin taivutettua koekappaletta käytettäessä on tarkastettava, että taivutuskohtiin ei ole jäänyt ilmakuplia.

6.6.7 Tulosten käsittely ja arvostelu

6.6.7.1 Laskukaavat

Vedenjohtokyky (q_w) lasketaan koetuloksista kaavalla

$$q_w = \frac{QL}{\Delta h}$$

missä q_w on vedenjohtokyky = $A_w k_w$ (ml/s)
 A_w koekappaleen hydraulisesti tehokas poikkipinta-ala, mm²
 k_w pituussuuntainen vedenläpäisevyys
 Q mitattu virtaama (ml/s)
 Δh vedenpaine-ero koekappaleen päiden välillä, mm
 L näytteen pituus (300 mm)

Jos veden lämpötila poikkeaa 20 °C:sta, on tehtävä veden muuttuvan viskositeetin vuoksi lämpötilakorjaus. Vedenjohtokyky 20 °C:n lämpötilassa ($q_{w,20}$) lasketaan kaavalla

$$q_{w,20} = q_{w,T} \alpha_{T,20}$$

missä $q_{w,T}$ on lämpötilassa T mitattu vedenjohtokyky
 $\alpha_{T,20}$ korjauskerroin lämpötilasta T vertailulämpötilaan 20 °C (taulukko 4).

Taulukko 4. Vedenjohtokyvyn lämpötilakorjauskertoimet referenssilämpötilaan 20 °C.

T, °C	$\alpha_{T,20}$	T, °C	$\alpha_{T,20}$
15	1,135	20	1,000
16	1,106	21	0,976
17	1,079	22	0,952
18	1,052	23	0,930
19	1,026	24	0,908
		25	0,888

Lasketaan lämpötilakorjattujen vedenjohtokykyarvojen keskiarvo rinnakkaisista kokeista.

Vedenjohtokyky (q_w) ilmoitetaan paine-eron arvoilla 100 ja 200 mm (tai virtaaman arvolla $Q = 5$ ml/s) $T = 20$ °C lämpötilassa.

6.6.7.2 Tulosten arvostelu

Suoran pystyöjanauhan tämän ohjeen mukaan määritetyn vedenjohtokyvyn hyväksyttävä vähimmäisarvo on $q_w = 10$ ml/s.

Taivutetun ojanauhan vedenjohtokyvyn tulee olla vähintään 7,5 ml/s eli 75 % suoran ojanauhan vedenjohtokyvystä.

6.6.8 Raportointi

Vedenjohtokykykokeen tulostuksessa esitetään

1. ohjeet, joita kokeissa noudatettu ja mahdolliset poikkeamat ko. ohjeista

2. testattujen koekappaleiden määrä ja yksityiskohtaiset tiedot
3. mitatut vedenjohtokyvyn keskiarvot ainakin paine-eron arvoilla 100 ja 200 mm tai virtaaman arvolla $Q = 5 \text{ ml/s}$, rinnakkaiskokeiden määrä
4. käytetyn poikittaiskuormituksen arvo, sen kesto aika, kuormitetun ojanauhan paksuus ajan suhteen ja alkuperäinen paksuus
5. koeolosuhteet
6. kuvaus käytetystä laitteistosta

6.7 Geotekstiilisuodattimen tehokkaan huokoskoon määrittäminen

6.7.1 Tarkoitus ja periaate

Tässä ohjeessa esitetään hydrodynaaminen seulontamenetelmä, jolla määritetään geotekstiilisuodattimen tehokas huokoskoko. Koe soveltuu niille (ohuille) geotekstiileille, jotka pidättävät sisäänsä alle 2 % kokeessa käytetävän maamateriaalin määrästä.

Tehokas huokoskoko määritetään märkäseulomalla dynaamisesti sopivaa sekarakeista maamateriaalia suodatinnäytteen lävitse ja vertaamalla näytteen pidättämän materiaalin rakeisuuskäyrää näytteen läpäisseen materiaalin rakeisuuskäyrään.

Suodattimen tehokkaalla huokoskoolla (O_{90} , O_{95} tai O_{98} tarkoitetaan sitä keskimääräistä (koe)maa-aineksen partikkelikokoa, josta suodatin pidättää 90 %, 95 % tai 98 %. Tehokas huokoskoko ilmaisee likimääräisesti suurimman raekoon, jota pääsee merkittävässä määrin puhtaan suodattimen lävitse.

Suodattimen tehokas huokoskoko voidaan määrittää myös märkäseulontakokeella. Tällöin suositellaan käytettäväksi Franzius-Institut Hannover'in (FIH) mukaista koemenetelmää (esitetty mm. teoksessa Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, 1986).

6.7.2 Viitteet

ISO/TC 38/SC21 The hydraulic properties of geotextiles:
UK Draft Proposals to ISO 8.5.1990

ISO/DIS 9863 Determination of thickness of woven and knitted fabrics

French Standard NFG 38017

6.7.3 Koelaitteet ja materiaalit

6.7.3.1 Hydrodynaaminen seulontakoje

Seulontakokeessa koeselliin asennettua suodatinnäytettä ja sen päällä olevaa koemaa-ainemateriaalia liikutellaan vertikaalisesti siten, että yläasennossa koekappale on kokonaan vedenpinnan yläpuolella ja ala-asennossa koeselli on kokonaan vedenpinnan alapuolella.

Koesellin pystysuoran liikkeen (ääriasentojen välisen välimatkan) on vähintään 100 - 150 mm ja liikenoisuus välillä 15 - 25 mm/s. Koesellin viipymän ala-asennossa on noin 3 sekuntia ja yläasennossa vähintään 15 sekuntia. Koje ajastetaan siten, että koeselli tekee kaksi (1,5 - 2,5) täyttä kierrosta minuutissa. Yhden kierroksen ohjeellinen kesto aika on 30 sekuntia seuraavasti: yläasento 20 s, laskeminen 3 s, ala-asento 2 s, nostaminen 5 s.

Suodatinnäytteen alapuolisena tukena käytettävän teräsverkon silmäväli on vähintään 5 - 10 mm veden vapaan virtauksen varmistamiseksi.

Suodatinnäytteen kokonaishalkaisija on 170 mm ja tehokas halkaisija 140 mm. (Normiehdotuksessa ISO/TC 38 tehokas halkaisija on 200 mm).

Jokaista koeselliä (koekappaletta) varten on erillinen vesiasia, johon joutunut maa-aines voidaan tarvittaessa tarkoin kerätä.

6.7.3.2 Koemaa-aines

Koemaa-aineksen raekokokoostumuksen tulee olla tutkittavan suodatinnäytteen tehokkaaseen huokoskokoon (O_{90}) nähden sopiva siten, että

$$D_{10} < O_{90} < D_{90}$$

Koemaa-aineksen raekokosuhteen (D_{60}/D_{10}) tulee olla suurempi kuin 6. Koemaa-aineksen ohjeellinen rakeisuusalue on esitetty liitteessä 6.

Koemaa-aineksen kuivamassan ohjeellinen määrä on 300 g. Suodattimen läpäisseen aineksen määrän tulee olla vähintään 50 g, minkä vuoksi koe tehdään tarvittaessa suuremmalla maa-aineksen kokonaismäärällä (1500 g).

Hydrodynaamisessa seulontakokeessa käytetään normaalisti kvartsihiekkaseosta, jonka rakeisuuskäyrä on liitteessä 6. Seos koostuu kahdesta kvartsihiekkasta: 30 % 0 - 0,2 mm ja 70 % 0,3 - 0,6 mm.

Tarvittaessa koe tehdään käyttäen koemaa-aineksena pystyjitettavasta kohteesta otettua edustavaa maalajia.

6.7.3.3 Muut laitteet

Koemaa-aineksen rakeisuuden määrittäislaitteet: märkaseulontasarja täris-timineen, areometri, sekuntikello.

Kuivatusuuni, lämpötila 105-110 °C.

Vaaka, tarkkuus 0,1 g.

Paperisuodattimia, seulojen puhdistuslaite.

6.7.4 Koekappaleet

Koe tehdään 3 - 4 rinnakkaiselle suodatinnäytteelle. Koekappaleet otetaan ojanauhaerästä satunnaisesti.

Koekappaleet leikataan ojanauhan suodattimesta $D = 170$ mm mallinetta käyttäen siten, että 1 - 2 koekappaleeseen mukaan tulee myös saumaa. Koekappaleen päällä tulee käyttää riittävän paksua O-rengasta, jotta sau-man kohta ei heikennä tiiviyyttä.

Koekappaleiden massa (g/m^2) ja paksuus määritetään 20 ± 2 °C:n lämpötilassa normien ISO 9864 ja ISO/DIS 9863 mukaan.

Ennen kokeen suorittamista suodatinnäytteet upotetaan veteen, poistetaan näytteeseen jääneet ilmakuplat ja säilytetään 20 ± 2 °C vedessä 24 tunnin ajan.

6.7.5 Kokeen suoritus

6.7.5.1 Valmistelu

Punnitaan uunissa kuivattua (tarvittaessa jauhattua) koemaa-ainesta 300 g (1500 g). Koko koemaa-aineksen rakeisuus määritetään märkaseulonnalla ja tarvittaessa areometrillä, minkä jälkeen kaikki 300 g kerätään, kuivataan, punnitaan ja sekoitetaan huolellisesti.

Suodatinnäyte asetetaan paikalleen laitteeseen. Koemaa-aines levitetään tasaisesti näytteelle. Kootaan laite erityisesti huomioiden saumojen tiiviys.

6.7.5.2 Koe

Kokeessa näytteelle tehdään 2000 (nosto- ja lasku) kierrosta 2,0 (enintään 2,5) kierroksen minuuttinopeudella. Kokeen kesto aika on noin 16,5 h kahden kierroksen minuuttinopeudella.

Kokeen jälkeen suodatinnäytteen pidättämä maa-aines kerätään tarkoin, kuivataan (105 °C) ja punnitaan.

Kun koko koemaa-aineksen rakeisuus on määritetty ennen hydrodynaamisista seulontakoetta, ei suodatinnäytteen läpäisemää maa-ainesta tarvitse kerätä. Muussa tapauksessa suodatinnäytteen läpäisemä maa-aines kerätään astiasta mahdollisimman tarkoin käyttäen hienoaineksen pidättäviä paperisuodattimia. Hienoaineksen on ennen suodatusta annettava saostua astian pohjalle riittävän pitkän aikaa (vähintään 24 h). Kerätty maa-aines kuivataan ja punnitaan.

Koekappaleen pidättämän ja kun koko 300 g koehiekan rakeisuutta ei ole määritetty, koekappaleen läpäisemän koehiekan rakeisuus määritetään erikseen käyttäen märkäseulontaa ja tarvittaessa areometrikoetta.

Koe toistetaan rinnakkaiskoekappaleilla käyttäen kussakin kokeessa uutta 300 g koehiekkaerää.

6.7.6 Tulosten käsittely

Valitaan riittävä määrä raekokorajoja (kaikki ko. seulakoot), joiden kohdalta luetaan määritettyjä raekäyriä. Lasketaan kutakin raekokofraktiota (vierekkäisten seulakokojen väliset raekoot) koskeva suodatinnäytteen läpäisseen osamassan osuus (T_i) koko massaosuudesta:

$$T_i = \frac{P_i}{M_i} \cdot 100 \% ,$$

missä M_i on	koemaa-aineksen (300 g) se osamassa, jonka raekoot ovat välillä $i-1 \dots i$
R_i	suodatinnäytteelle pidättyneen maamassan se osamassa, jonka raekoot ovat välillä $i-1 \dots i$
$P_i (= M_i - R_i)$	suodatinnäytteen läpäisseen maamassan se osamassa, jonka raekoot välillä $i-1 \dots i$

Puolilogaritmiselle asteikolle piirretään T_i :n arvot raekoon i funktiona. Luetaan kuvaajalta T_i :n arvoa 10 % vastaava raekoko, joka on suodatinkan-kaan tehokas huokoskoko O_{90} .

Vastaavalla tavalla luetaan kuvaajalta tehokkaat huokoskoot O_{50} , O_{95} ja O_{98} .

Kutakin koekappaletta (3 kpl) koskevat tulokset käsitellään vastaavasti. Lasketaan tehokkaan huokoskoon keskimääräinen arvo. Tuloksia verrataan koekappaleiden paksuuteen ja neliömassaan. Suodattimen sauman vaikutus tulokseen arvioidaan.

6.7.7 Raportointi

Hydrodynaamisen seulontakokeen tulostuksessa esitetään

1. ohjeet, joita on noudatettu ja mahdolliset poikkeamat ohjeista
2. testattua suodatinmateriaalia koskevat tiedot ml. niiden neliömassa (ISO 9864) ja paksuus (ISO/DIS 9863)
3. koetulokset sisältäen kutakin näytekappaletta vastaavat raekäyrät ja tehokkaiden huokoskokojen O_{90} ja O_{95} keskiarvot
4. käytetyn koemaa-aineksen raekäyrä ja kuvaus
5. suodatinkoekappaleen sisään jääneen maa-aineksen määrä
6. kuvaus koelaitteistosta

6.8 Pystyöjan suodattimen vedenläpäisevyyden määrittäminen vakiopainekokeella

6.8.1 Tarkoitus ja periaate

Tässä ohjeessa esitetään menetelmä pystyöjan suodattimen tasoa vastaan kohtisuoran vedenläpäisevyyden määrittämiseksi. Menetelmässä käytetään vakiopainekorkeutta ja kuormittamatonta koekappaletta.

Vakiopainekokeessa pidetään koekappaleen yli vallitseva vedenpaine-ero vakiona ja mitataan vastaava suodatinnäytteen läpi virranneen veden määrä. Vakiopain-erona käytetään 30 ja 50 mm vesipatsasta. Tarvittaessa käytettävä paine-ero valitaan näytteen läpäisevyyden mukaan.

6.8.2 Viitteet

ASTM Designation: D 4491-85. Standard Test Methods for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity. Approved 31.5.1985.

ISO/TC 38/SC21 Determination of water flow normal to the plane of a geotextile under a constant head.

6.8.3 Määritelmät

Vedenläpäisevyys (permeabiliteetti) k [m/s], on veden laminaarisen virtauksen nopeus huokoisen materiaalin läpi hydraulisen gradientin arvolla yksi.

Permittiivisyys Ψ [1/s] veden tilavuusvirtaama pinta-alayksikköä ja painehäviöyksikköä kohti laminaarisessa virtauksessa.

6.8.4 Koelaitteet

6.8.4.1 Vedenläpäisevyyden mittalaite

Vedenläpäisevyyden koelaitteistolla tulee aikaansaada stationäärinen virtaus koekappaleen lävitse. Kojeella mitataan koekappaleen aiheuttama, ajan suhteen vakio painehäviö sekä vastaava virtaama. Veden virtausnopeuden näytteen lävitse tulee voida vaihdella ainakin välillä 0 - 60 mm/s.

Näytteen hydraulisesti tehokas halkaisija on 72 mm. Vähimmäishalkaisija on 35 mm.

Mitattava painehäviö muodostuu pelkästään suodatinnäytteessä, eli annettaessa veden virrata laitteen läpi ilman näytettä mitattu painehäviö on nolla.

Suodatinnäyte kiinnitetään hyvin paikalleen virtauspaineen aiheuttamien muodonmuutosten estämiseksi.

Kokeessa käytetään 20 ± 2 °C puhdasta vettä, josta on poistettu ilma.

6.8.4.2 Muut laitteet

Virtaaman mittauksessa käytetään 30 s mittausajan mahdollistavaa mittastiaa. Vähimmäismittausaika on 20 s.

Sekuntikello, tarkkuus 0,1 s

Lämpömittari, tarkkuus 0,1 °C

Vaaka, tarkkuus 0,1 g

Malline koekappaleiden leikkaamista varten. Halkaisijan mittatarkkuus on 1 mm.

6.8.5 Koekappaleet

Koekappaleet otetaan satunnaisotoksena mahdollisimman hyvin tutkittavaa ojanauhaerää edustavasti. Rinnakkaisten koekappaleiden vähimmäismäärä on 3.

Koekappaleet leikataan ojanauhan suodattimesta siten, että yhteen koekappaleeseen tulee myös saumaa (mikäli sauman kohta saadaan tiivistetyksi asianmukaisesti).

Koekappaleiden kuivamassa ja paksuus (2 kPa:n kuormituksessa) määritetään, minkä jälkeen ne upotetaan veteen, poistetaan ilmakuplat ja säilytetään 20 ± 2 °C:ssa vedessä vähintään 24 h.

6.8.6 Vedenläpäisevyyskokeen suoritus

1. Varmistetaan laitteen kaikkien saumojen tiiviys.
2. Aloitetaan laitteen täyttö johtamalla vettä putkesta laitteen pohjalle ja poistetaan samalla seinämiin jääneet ilmakuplat. Asennetaan koekappale paikoilleen, kun veden pinta on näytteen asentamistasolla. Juoksetetaan vettä koekappaleen läpi ja poistetaan kankaan pinnalta kaikki ilmakuplat ja mahdolliset epäpuhtaudet.
3. Kun on varmistettu, että koekappaleeseen ei ole jäänyt ilmakuplia, säädetään virtaamaa siten, että paine-ero ($\pm h$) koekappaleen yli on 50 mm. Paine-eron tulee olla vakio vähintään 30 s ajan, minkä jälkeen määritetään virtaama. Virtaama määritetään vähintään kolme kertaa samalla tarkkaillen, että paine-ero pysyy vakioarvossaan ($\pm h = 50$ mm). Mitataan veden lämpötila.

Vesimäärän mittaustarkkuus on 1 g, ajan mittaustarkkuus 0,3 s (mittausjakson ollessa 30 s) ja lämpötilan mittaustarkkuus 0,2 °C.

4. Toistetaan kohdan 3 mittaukset paine-eron arvoilla 30 ja 100 mm. Tarkastetaan riittävän usein, että koekappaleeseen ei ole kerääntynyt ilmakuplia. Mahdolliset ilmakuplat ja epäpuhtaudet poistetaan ennen kokeen jatkamista.
5. Toistetaan mittaukset rinnakkaiskoekappaleilla.

6.8.7 Tulosten käsittely

Mittaustulosten pohjalta lasketuista virtausnopeuden arvoista piirretään kuvaaja painehäviön funktiona. Virtausnopeus (v) lasketaan kaavalla

$$v = \frac{QR_T}{At}$$

missä Q on mitattu vesimäärä
 A koekappaleen tehokas pinta-ala
 t vesimäärää Q vastaava aika
 R_T lämpötilakorjauskerroin (taulukko 4)

$$R_T = \frac{U_T}{U_{20^\circ\text{C}}}$$

missä U_T on veden viskositeetti testauslämpötilassa T
 $U_{20^\circ\text{C}}$ veden viskositeetti 20 °C:n lämpötilassa

Virtausnopeus-painehäviö -kuvaajan alkuosan tulisi olla suoraviivainen. Niin kauan kuin kuvaaja on lähes suoraviivainen, voidaan virtaus olettaa laminaariseksi. Vedenläpäisevyytulokset ovat voimassa vain laminaarisen virtauksen alueella.

Permittiivisyys (Ψ) eli painehäviö-virtausnopeus -kuvaajan tangentti lasketaan kaavalla

$$\Psi = \frac{\Delta v}{\Delta(\Delta h)}$$

missä Δ on virtausnopeuden muutos
 $\Delta(\Delta h)$ paine-eron muutos

Permittiivisyys ilmoitetaan virtausnopeuden arvoilla $v = 10$ ja 20 mm/s, joiden tulee olla laminaarisella alueella.

Vedenläpäisevyys (k) ilmoitetaan paine-eron arvolla 50 mm edellyttäen, että tämä on laminaarisen virtauksen alueella. Muussa tapauksessa pienennetään painehäviön arvoa laminaariselle alueelle. Vedenläpäisevyys lasketaan kaavalla

$$k = \frac{v}{i} = \frac{v T_g}{\Delta h}$$

missä v on virtausnopeus (mm/s)
 i hydraulinen gradientti
 Δh mitattu paine-ero, mm
 T_g koekappaleen paksuus (2 kPa:n kuormituksella), mm

Käsitellään tulokset rinnakkaiskoekappaleiden osalta ja lasketaan vedenläpäisevyyden ja permittiivisyyden keskiarvo vähintään kolmen koekappaleen tuloksista.

6.8.8 Raportointi

Vedenläpäisevyysskoeken raportissa esitetään ainakin kohdat

1. ohjeet, joiden mukaan koe tehtiin ja mahdolliset poikkeamat ohjeista
2. koekappaleiden mitta- ym. yksityiskohtaiset tiedot
3. koetulokset sisältäen permeabiliteetin ja permittiivisyyden, tulosten keskiarvo, vastaavat paine-eron arvot ja kokeiden lukumäärä
4. virtausnopeus vs. paine-ero -kuvaaja
5. kuvaus mittauslaitteistosta

KIRJALLISUUSLUETTELO

Ali, F. H., The influence of filter jacket and core geometry on the longitudinal permeability of a prefabricated drain. *Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Vol. 31, Sept.1991, P. 120-126.

ASTM Standards on Geotextiles. D 4491-85. Standard test methods for water permeability of geotextiles by permittivity. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1988.

Barron, R.A., Consolidation of fine grained soils by drain wells. *Trans. Am. Soc. Civ. Engrs.* 1948/113, s.718-724.

CAN/CGSB-148.1. Method of testing geotextiles and geomembranes. The normal water permeability of geotextiles. Draft, January 1988.

DVWK Schriften 76. Anwendung und Prüfung von Kunststoffen im Erdbau und Wasserbau. Empfehlung des AK 14 der DGEG. Hamburg 1986.

Fischer, G.R., et al., Filter criteria based on pore-size distribution. 4th Int. conf. on geotextiles, geomembranes and related products. The Hague, 1990. s.289-293.

Gourc, J.P., Faure, V.H., The soil particle, the water and the fiber, a fruitful interaction now controlled. General report. 4th Int. conf. on geotextiles, geomembranes and related products. The Hague, 1990. (Vol.3 preprint)

Hansbo, S., Consolidation of clay, with special reference to the influence of vertical sand drains. Swedish Geotechnical Institute, Proc. No. 18, 1960.

Hansbo, S., Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains. Proc. X ICSMFE, Stockholm, 1981. s.677-682.

Hansbo, S., How to evaluate the properties of prefabricated drains. VIII ECSMFE. Improvement of Ground. Helsinki, 1983. s.621-626.

Heerten, G., Filtering efficiency of geotextiles for earthwork and hydraulic engineering in relation to mineral filters. A short course.

ISO Technical Committee 38/SC 21- WG 3. Paper Nr.39. Wide strip tensile test for geotextiles and related products.

ISO Technical Committee 38/SC 21- WG 3. Paper Nr.44. Wide strip tensile test for joints or seams in geotextiles or related products.

ISSMFE Technical Committee on Filters. Report on filters. Revised draft, August 1987.

Jager, de W., Oostveen, J., Systematic quality control of vertical drainage. 4th Int. conf. on geotextiles, geomembranes and related products. The Hague, 1990. s.321-326.

Jamiolkowski, M., et al., Precompression and speeding up consolidation. General report. VIII ECSMFE. Improvement of Ground. Helsinki, 1983. s.105-117.

Kremer, R., Recent findings in the field and laboratory on the integrity and durability of prefab drains. VIII ECSMFE. Improvement of Ground. Helsinki, 1983. s.1235-1238.

Kremer, R., et al., The quality of vertical drainage. VIII ECSMFE. Improvement of Ground. Helsinki, 1983. s.721-726.

Oostveen, J., Research activities on vertical drainage in the Netherlands. Delft University of Technology. Dptmt of Civ. Engrg., Geotechn. Lab., Nr. 283, August 1986.

Oostveen, J., Troost, G., Discharge index tests on vertical drains. 4th Int. conf. on geotextiles, geomembranes and related products. The Hague, 1990. s.345-350.

Rendulic, L., Der hydrodynamische Spannungsausgleich in zentral entwässerten Tonzylindern. Wasserwirtschaftstechnik 1935/2, s. 250-253, 269-273.

Schober, W., Teindl, H., Filter-criteria for geotextiles. VII ECSMFE. Design parameters in geotechnical engineering. British Geotechnical Society, London 1979. Vol 2, s. 121-129.

Vreeken, C., et al., The effect of clay-drain interface erosion on the performance of band-shaped drains. VIII ECSMFE. Improvement of Ground. Helsinki, 1983. s.713-716.

Wittmann, L., The process of soil-filtration - its physics and the approach in engineering practice. VII ECSMFE. Design parameters in geotechnical engineering. British Geotechnical Society, London 1979. Vol 1, s. 303-310.

LIITELUETTELO

- Liite 1. Tyypitarkastuksen tulokset, MEBRA-DRAIN MD 7407
- Liite 2. Tyypitarkastuksen tulokset, COLBONDDRAIN CX 1000
- Liite 3. Tyypitarkastuksen tulokset, TENAX VDR 100
- Liite 4. Tyypitarkastuksen tulokset, FLODRAIN FD 6x100
- Liite 5. Tyypitarkastuksen tulokset, AMERDRAIN 407
- Liite 6. Hydrodynaamisessa seulonta, koemaa-aineksen rakeisuusalue sekä koehiekkojen rakeisuudet
- Liite 7. Pystyöjanauhojen laadunvalvontatoimenpiteet työmaalla, taulukko
- Liite 8. Pystyöjanauhanäytteiden ottaminen ja laaduntarkkailu työmaalla
- Liite 9. Pystyöjanauhan laaduntarkastuslausunto- ja tuloslomake
- Liite 10. Pystyöjituspöytäkirja, lomake
- Liite 11. Pystyöjanauhatoimitusten tarkastuspöytäkirja, lomake

Pystyöjanauha MEBRA-DRAIN MD7407

Testauksessa olleen ojanauhanäytteen valinta:

Maahantuoja toimitti 6.6.1990 VTT:lle n. 10 m ojanauhanäytteen ja syyskuussa 1990 n. 5 m lisänäytteen.

Suodattimen lajuus

Pitkittäinen vedenjohtokyky
(kuormitus 125 kPa, $T=20^{\circ}\text{C}$)

Suodattimen vedenläpäisevyys
(kuormittamaton koekappale)

Suodattimen tehokas huokoskoko

maalajista riippuen
O90 < d85 ja
O90 < 0.15 mm
tai
O90 <
(1,1 - 2,8)d50

**kun pystyja alttiina jäätymiselle ja routimiselle

Tyypitarkastuksen tulosten perusteella ojanauha MEBRA-DRAIN MD7407 täyttää pysty-
nauhoille tässä ohjeessa asetetut laatuvaatimukset lukuunottamatta seuraavia ominaisuuksia:

* Saumallisen suodattimen poikittainen muodonmuutoskyky on riittämätön.

Pystyöjanauhan arvioitu soveltuvuus :

Soveltuu käytettäväksi suodatusteknisesti tavallisissa, mutta ei vaikeissa maalajeissa.

Pystöjanauha COLBONDDRAIN CX1000

Lab.nro : 6389

Tilaaja toimitti 15.8.1990 VTT:een n. 25 m ojanauhaerän, josta koekappaleet otettiin satunnaisesti.

Nro	LUOKITUS- OMINAISUUS	SYMBOLI	YKSIKKO	KOE- LKM	KESKI- ARVO	VAIHTELU VÄLI	VAADITTU ARVO
	Ojanauha						
1	Leveys (kokonais / ydin)	B	mm	5	96.5 / 91		nim. (100 ± 5 %)
2	Ekvivalenttihalkaisija	De	mm		61		
3	Massa	Wo	g/m	5	66.9	66.4 - 67.8	70 + 10 %
4	Paksuus 20 kPa:lla	T20	mm	15	4.74	4.63 - 4.86	nim.(5.0 ± 5 %)
5	Paksuus 125 kPa:lla, 30d (m	T125	mm	1	3.62	-	> 0,7T20
6	Kokoonpuristuma (m) 125 kPa:lla välillä 30d-60d	ΔT125/Δτ	mm / 30d	1	0.016	-	< 0,05
7	Max. vetolujuus (kuivana = k)	Pu1	kN	5	1.84	1.74 - 1.89	> 1,0
8	Max. vetolujuus (märkänä = m	Pu2	kN	5	1.89	1.77 - 2.01	> 1,0
9	Murtovenymä (k)	Eu1	%	5	26.1	24.6 - 28.7	> 15 (> 30)**
10	Murtovenymä (m)	Eu2	%	5	33.5	30.3 - 36.1	> 15 (> 30)**
11	Taivutusvetolujuus (m)	Ptb	kN	2	> 2.0	-	> 2,0 ehjänä pysyen
	Suodatin						
12	Paksuus 4 kPa:lla	Tg	mm	20	1.11	1.00 - 1.14	nim. + 10%
13	Pitkittäinen vetolujuus (k)	Pu3	kN/m	5	9.55	9.0 - 10.1	> 3,0
14	Pitkittäinen murtovenymä (k)	Eu3	%	5	25.5	24.9 - 26.0	> 15 (> 30)**
15	Poikittainen vetolujuus (k)	Pu4	kN/m	5	11.76	10.9 - 12.8	> 3,0
16	Poikittainen murtovenymä (k)	Eu4	%	5	30.0	28.4 - 31.8	> 15 (> 30)**
17	Saumallisena poik.vetolujuus (leikkausmurtolujuus) (m)	Pu5	kN/m	10	1.87	1.73 - 2.08	> 1,5
18	Sauman poik.murtovenymä*	Eu5	%	10	4.0	3.5 - 4.4	> 10
	Pitkittäinen vedenjohtokyky (kuormitus 125 kPa,T=20°C)						
19	paine-erolla 100 mm	qw1	ml/s	2	104.8	88.2 - 121.4	> 10
20	paine-erolla 200 mm	qw2	ml/s	2	78.1	64.9 - 91.3	> 10
	Suodattimen vedenläpäisevyys (kuormittamaton koekappale)						
	1) vedenläpäisevyys ,T=20°C						
21	paine-erolla 30 mm	k1	mm/s	2	1.61	1.28 - 1.94	> 50kmaa
22	paine-erolla 50 mm	k2	mm/s	2	1.39	1.15 - 1.64	> 50kmaa
	2) permittiivisyys ,T=20°C						
23	virtausnop. v = 10 mm/s	Ψ1	1/s	2	2.12	2.00 - 2.25	> 0.0025 -
24	virtausnop. v = 20 mm/s	Ψ2	1/s	2	1.70	1.55 - 1.85	0.0050
	Suodattimen tehokas huokoskoko (hydrodynaaminen seulonta, massaosuusmenetelmä)						maalajista riippuen O90 < d85 ja O90 < 0.15 mm tai
25	tehokas huokoskoko	O90	mm	2	0.108	0.075 - 0.14	O90 <
26	tehokas huokoskoko	O95	mm	2	0.128	0.08 - 0.175	(1,1 - 2.8)d50

**kun pystyja alttiina jäätymiselle ja routimiselle

Tyypitarkastuksen tulosten perusteella ojanauha COLBONDDRAIN CX1000 täyttää pystojauhoille tässä ohjeessa asetetut laatuvaatimukset lukuunottamatta seuraavia ominaisuuksia:

* Suodattimen sauman poikittainen muodonmuutoskyky ei ole riittävän suuri.

Pystyöjanauhan arvioitu soveltuvuus :

Ojanauha soveltuu suodatusteknisesti tavallisiin ja arviolta vaikeahkoihin maalajeihin.

Pystyöjanauha TENAX VDR 100

Testauksessa olleen ojanauhanäytteen valinta:

Valmistaja, Tenax SpA, toimitti 6.11.1990 VTT:een n. 20 m ojauhanäytteen sekä kesäkuussa 1991 lisänäytteen (n. 30 m).

***kun pystyöja alttiina jäätymiselle ja routimiselle

Tyypitarkastustulosten perusteella ojanauha TENAX VDR 100 täyttää pystyjo-
nauhoille tässä ohjeessa asetetut laatuvaatimukset lukuunottamatta seuraavia ominaisuuksia:

*Suodattimen saumauksen laatu oli liian epätasainen 11/1990 näytteessä.

(Lisänäytteessä 6/1991 sauman laatu oli riittävän hyvä).

Pystyöjauhan arvioitu soveltuvuus :

Soveltuu suodatusteknisesti tavallisiin, mutta ei vaikeisiin maalajeihin.

Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset, laadunvalvonta ja testausmenetelmät

PYSTYJOJANAUHAN			Pystyjojanauha FLODRIN FD 6x100				
TYYPITARKASTUKSEN TULOKSET			Lab.numero 6641				
Testauksessa olleen ojanauhanäytteen valinta:							
Maahantuoja , Solcon Oy , toimitti VTT:een 16.1.1991 1,5 m ja 8.2.1991 n. 10 m ojanauhanäytteet.							
Nro	LUOKITUS- OMINAISUUS	SYMBOLI	YKSIKKO	KOE- LKM	KESKI- ARVO	VAIHTELU- VÄLI	VAADITTU ARVO
Ojanauhan lujuus							
1	Leveys	B	mm	10	98.7	98 - 101	100 (nim.) ± 5 %
2	Ekvivalenttihakaisija	De	mm	10	67.2		
3	Massa	Wo	g/m	5	97.5	86.7 - 108.7	85 (nim.) ± 10 %
4	Paksuus 20 kPa:lla	T20	mm	15	6.83	5.92 - 7.44	6.0 (nim.)
5	Paksuus 125 kPa:lla, 30d (m	T125	mm	2	5.56	5.41 - 5.71	> 0.7T20
6	Kokoonpuristuma (m) 125 kPa:lla välillä 30 - 60d	ΔT125/Δτ	mm / 30d	2	0.01	0.009 - 0.011	< 0.05
7	Max. vetolujuus (kuivana = k)	Pu1	kN	5	3.02	2.83 - 3.36	> 1.0
8	Max. vetolujuus (märkänä = m	Pu2	kN	5	3.25	3.00 - 3.45	> 1.0
9	Murtovenymä (k)	Eu1	%	5	47.8	37 - 57	> 15 (> 30)**
10	Murtovenymä (m)	Eu2	%	5	56.8	54 - 62	> 15 (> 30)**
11	Taivutusvetolujuus (m)	Ptb	kN	3	> 2.0	-	> 2.0 ehjänä pysyen
Suodattimen lujuus							
12	Paksuus 4 kPa:lla	Tg	mm	15	0.485	0.41 - 0.53	0.48 + 10%
13	Pitkittäinen vetolujuus (m)	Pu3	kN/m	5	9.26	7.27 - 10.58	> 3.0
14	Pitkittäinen murtovenymä (m)	Eu3	%	5	53.0	31 - 62	> 15 (> 30)**
15	Poikittainen vetolujuus (m)	Pu4	kN/m	5	4.79	3.70 - 5.50	> 3.0
16	Poikittainen murtovenymä (m)	Eu4	%	5	36.4	22 - 46	> 15 (> 30)**
17	Saumallisena poikitt.veto- tai leikkausmurtolujuus (m)	Pu5	kN/m	5+5	4.65/4.91	3.05 - 6.14	> 1.5
18	Sauman poik.murtovenymä*	Eu5	%	5+5	22.4/26.7	10 - 40	> 10
Pitkittäinen vedenjohtokyky (kuormitus 125 kPa, T=20°C)							
19	paine-erolla 100 mm	qw1	ml/s	3	204	140 - 237	> 10
20	paine-erolla 200 mm	qw2	ml/s	2	139	100 - 178	> 10
Suodattimen vedenläpäisevyys (kuormittamaton koekappale)							
1) vedenläpäisevyys , T=20°C							
21	paine-erolla 30 mm	k1	mm/s	3	0.39	0.23 - 0.48	> 50kmaa
22	paine-erolla 50 mm	k2	mm/s	3	0.29	0.22 - 0.42	> 50kmaa
2) permittiivisyys , T=20°C							
23	virtausnop. v = 10 mm/s	Ψ1	1/s	3	0.95	0.47 - 1.49	> 0.0025 -
24	virtausnop. v = 20 mm/s	Ψ2	1/s	2	0.58	0.40 - 0.77	0.0050
Suodattimen tehokas huokoskoko (hydrodynaaminen seulonta, massaosuusmenetelmä)							
25	tehokas huokoskoko	O90	mm	3	0.175	0.15 - 0.20	maalajista riippuen O90 < d85 ja O90 < 0.15 mm tai O90 < (1,1 - 2,8)d50
26							

**kun pystyjoja alttiina jäätymiselle ja routimiselle

Tyypitarkastuksen tulosten perusteella ojanauha FLODRIN FD 6x100 täyttää pystyjojanauhoille tässä ohjeessa asetetut laatuvaatimukset lukuunottamatta seuraavia ominaisuuksia:

*Ojanauhan ollessa jyrkästi taipuneena ydinosa aiheuttaa suodattimeen puhkaisurasituksia, jotka saattavat aiheuttaa suodatinkankaaseen pieniä reikiä.

Pystyjojanauhan arvioitu soveltuvuus :

Ojanauha soveltuu käytettäväksi suodatusteknisesti tavallisissa, mutta ei vaikeissa maalajeissa. Ojanauhaa ei suositella käytettäväksi olosuhteissa, joissa se joutuu jyrkästi taivutetuksi.

Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset, laadunvalvonta ja testausmenetelmät

PYSTYJOJANAUHAN

Pystyjojanauha AMERDRAIN 407

TYYPPITARKASTUKSEN TULOKSET

Lab.nro: 6655

Testauksessa olleen ojanauhanäytteen valinta:

Maahantuoja, Algol Oy, toimitti 27.3.1991 VTT:een n. 10 m ojanauhanäytteen.

Nro	LUOKITUS- OMINAISUUS	SYMBOLI	YKSIKKO	KOE- LKM	KESKI- ARVO	VAIHTELU- VÄLI	VAADITTU ARVO
Ojanauhan lujuus							
1	Leveys	B	mm	10	98.5	98 - 99	100 ± 5 %
2	Ekvivalenttihalkaisija	De	mm		65.5		
3	Massa	Wo	g/m	6	105.0	103.2 - 107	107 ± 10 %
4	Paksuus 20 kPa:lla	T20	mm	6x10	4.35	3.90 - 4.90	nim.
5	Paksuus 125 kPa:lla, 30d (m)	T125	mm	2	3.74	3.59 - 3.89	> 0.7T20
6	Kokoonpuristuma (m) 125 kPa:lla välillä 30 - 60d	ΔT125/Δτ	mm / 30d	2	0.03***	0.026 - 0.034)***	< 0.05
7	Max. vetolujuus (kuivana = k)	Pu1	kN	5	2.67	2.30 - 2.95	> 1.0
8	Max. vetolujuus(märkänä = m)	Pu2	kN	5	2.48	2.30 - 2.66	> 1.0
9	Murtovenymä (k)	Eu1	%	5	13.0	9.0 - 18.0	> 15 (> 30)**
10	Murtovenymä (m)	Eu2	%	5	11.4	7.9 - 16.0	> 15 (> 30)**
11	Taivutusvetolujuus (m)	Ptb	kN	3	> 2.0	-	> 2.0 ehjänä pysyen
Suodattimen lujuus							
12	Paksuus 4 kPa:lla	Tg	mm	30	0.483	0.44 - 0.53	0.48 + 10%
13	Pitkittäinen vetolujuus (m)	Pu3	kN/m	5	8.64	8.15 - 9.30	> 3.0
14	Pitkittäinen murtovenymä (m)	Eu3	%	5	107.0	83 - 128	> 15 (> 30)**
15	Poikittainen vetolujuus (m)	Pu4	kN/m	5	7.73	7.18 - 8.50	> 3.0
16	Poikittainen murtovenymä (m)	Eu4	%	5	66.0	55 - 77	> 15 (> 30)**
17	Saumallisena poikitt.veto- tai leikkausmurtolujuus (m)	Pu5	kN/m	5+5	4.02/3.71	2.98 - 4.52	> 1.5
18	Sauman poik.murtovenymä*	Eu5	%	5+5	8.4/ 7.4	4.5 - 11.5	> 10
Pitkittäinen vedenjohtokyky (kuormitus 125 kPa, T=20°C)							
19	paine-erolla 100 mm	qw1	ml/s	3	199	163 - 223	> 10
20	paine-erolla 200 mm	qw2	ml/s	3	168	138 - 188	> 10
Suodattimen vedenläpäisevyys (kuormittamaton koekappale)							
1) vedenläpäisevyys ,T=20°C							
21	paine-erolla 30 mm	k1	mm/s	3	0.19	0.14 - 0.30	> 50kmaa
22	paine-erolla 50 mm	k2	mm/s	2	0.18	0.17 - 0.20	> 50kmaa
2) permittiivisyys ,T=20°C							
23	virtausnop. v = 10 mm/s	Ψ1	1/s				> 0.0025 -
24	virtausnop. v = 20 mm/s	Ψ2	1/s				0.0050
Suodattimen tehokas huokoskoko (hydrodynaaminen seulonta, massaosuusmenetelmä)							
25	tehokas huokoskoko	O90	mm	3	0.125	0.12 - 0.13	maalajista riippuen O90 < d85 ja O90 < 0.15 mm tai O90 <
26	tehokas huokoskoko	O95	mm	3	0.15	0.14 - 0.16	(1,1 - 2,8)d50

**kun pystyjoja alttiina jäätymiselle ja routimiselle

Tyyppitarkastuksen tulosten perusteella ojanauha AMERDRAIN 407 täyttää pystyjojanauhoille tässä ohjeessa asetetut laatuvaatimukset lukuunottamatta seuraavia ominaisuuksia:
*Ojanauhan sekä suodattimen sauman muodonmuutoskyky(murtovenymä) alittavat osittain vaaditun arvon.

Pystyjojanauhan arvioitu soveltuvuus :

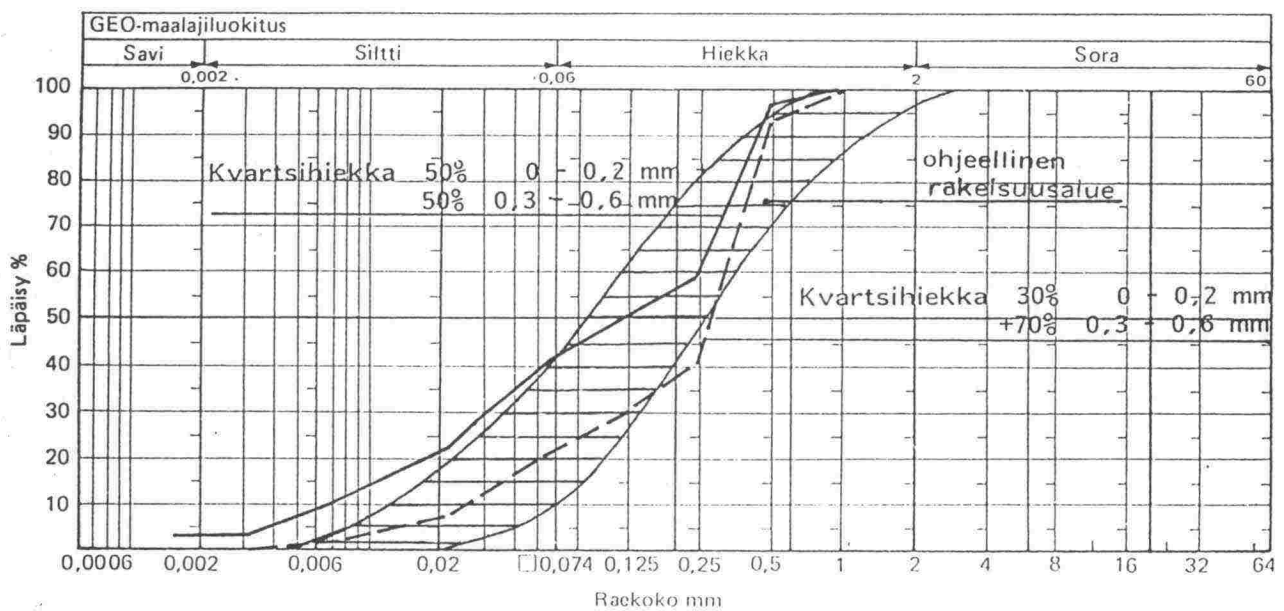
Soveltuu käytettäväksi suodatusteknisesti tavallisissa, mutta ei vaikeissa maalajeissa.

Ei suositella olosuhteisiin, joissa maapohjaan voi syntyä suuria (vaaka)siirtymiä.

HYDRODYNAAMINEN SEULONTA

Koemaa-aineksen French Standard NFG38017:n mukainen rakeisuusalue (viivoitettu) ja seulontakokeissa käytettyjen kvartsihiekkaseosten rakeisuuskäyrät.

Kaikki hydrodyn. seulontakokeet tehtiin käyttäen kvartsihiekkaa, jossa on 30 % raekokoja 0 - 0,2 mm ja 70 % raekokoja 0,3 - 0,6 mm.



Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset, laadunvalvonta ja testausmenetelmät

OJANAUHAN TUNNISTAMISEEN JA LAADUNVARMISTUKSEEN LIITTYVÄT TOIMENPITEET TYÖMAALLA

LAADUN- VALVONNAN VAIHEET	TARKASTETTAVAT ASIAT	TOIMENPITEET TYÖMAALLA	JOHTOPÄÄTÖKSET JA JATKOTOIMENPITEET
1. OJANAUHAN TUNNISTE- JA LAADUN- VALVONTA- TIETOJEN HANKKIMINEN	1.Nauhatyyppi ja sen raaka-aineet 2.Toimituserän koko ja pvm. 3.Valmistuserän pvm., rullien nrot ym. 4.Maahantuoja 5.Valmistajan laadun- valvontatulokset	Urakoitsija hankkii ko- tiedot. Tiedot merkitään pöytä- kirjalomakkeelle(liite 11) ja liitetään rakennuttajan laadunvalvonta-aineis- toon.	Ojanauhan valmistajan sisäisen laadunvalvonnan kattavuus ja tulokset vaikuttavat hankekohtaisen laadunval- vonnan määrään.
2.OJANAUHAN TUNNISTAMINEN JA NÄYTTEIDEN LAADUN- TARKASTUS	1.Nauhatyyppi ja nauhan rakenne 2.Ydinosan ja suodat- timen ainepaksuudet 3.Suodattimen saumaus 4.Tarvittaessa lujuus- ja suodatusominais- suudet lisäkokeilla.	Otetaan ojanauha- näytteitä Urakoitsija (rakennuttajan valvonnassa) ottaa näytteitä seuraavasti: 1)yksi näyte-erä(5 kpl) oijitusurakan alussa sekä jokaisesta toimitus- erästä (työmaalle) 2)yksi näyte-erä noin 50.000 ojаметrin välein 3)lisänäytteitä tarvittaessa esim. epäiltäessä vaja- laatuisuutta Lisäohjeita näytteenotto- pöytäkirja-lomakkeessa.	Ojanauhanäytteet toimitetaan viivy- tyksettä rakennuttajan hyväksymälle puolueettomalle laadunvalvojalle. Näytteille tehdään: A)rakenteen ja materiaalin vertailu tyyppitarkastettuun tuotteeseen B)massa- ja paksuusmittaukset C)lisäkokeiden tarpeen arviointi ja tarvittaessa laadunvarmistuksen edellyttämät lisäkokeet (taulukko 3)
3.OJANAUHAN LAADUN TASAISUUDEN TARKKAILU	1.Suodattimen ja ydinosan rakenne 2.Suodattimen paksuus 3.Suodattimen ja sen sauman ehjyys	Urakoitsija tarkastaa laadun tasaisuuden noin 10.000 ojаметrin välein seuraavasti: Verrataan ojanauhaa silmämääräisesti vertailu- kappaleeseen, jonka laatu on varmistettu. Katsotaan aukileikattua suodatinta valoa vasten vertailukappaleen kanssa Tarkastetaan silmämääräisesti.	Havainnot merkitään pöytäkirjaan (liite 8) Pöytäkirjat ja tarkastetut nauhankappa- leet liitetään laadunvalvonta-aineistoon. Vajaalaatuisuutta epäiltäessä ilmoite- taan asiasta välittömästi rakennuttajalle sekä otetaan nauhanäytteitä, jotka tarkastutetaan viivytyksettä. Olennaisesti vajaalaatuiseksi todettua ojanauhaa ei käytetä. Laadunvalvontaa lisätään. Todetusta vajaalaatuisuudesta ilmoi- tetaan viivytyksettä lisäksi maahan- tuojalle ja nauhan valmistajalle.

Pystyojanauhojen laatuvaatimukset, laadunvalvonta ja testausmenetelmät

PÖYTÄKIRJA PYSTYOJANAUHAN NÄYTTEENOTOSTA JA LAADUNTARKKAILUSTA TYÖMAALLA

Näytteenotto

1. Yksi näyte-erä (5 kpl) otetaan aina aloitettaessa ojitusrakka sekä jokaisesta työmaalle toimitetusta ojanauhaerästä.
2. Näytteitä otetaan suhteellisen tasaisesti, vähintään yksi näyte-erä noin 50000 asennettua nauhametriä kohti.
3. Lisänäytteitä otetaan tarvittaessa, esim. kun nauhaa epäillään vajaalaatuisiksi.

Näytteet (pituus 5 m) otetaan 1 kpl / rulla. Joka viides näyte otetaan rullan lopusta, muut näytteet satunnaisista kohdista. Näytteenotto suojaputken alapäästä.

Nauhanäytteet lähetetään rakennuttajan hyväksymälle puolueettomalle laadunvalvojalle.

Laadun tasaisuuden tarkkailu

Ojanauhan laadun tasaisuus tarkistetaan vähintään kerran 10000 asennettua nauhametriä kohti.

Tarvittaessa tarkistusväliä tiennetään. **Tarkastuksen tulokset merkitään pöytäkirjaan.**

Työkohde	
Urakoitsija	
Rakennuttaja	
Pystyojitusmäärä (ojam.)	
Ojituksen aloituspvm.	
Ojanauhan tyyppi (kauppanimi)	

OTETUT NÄYTTEET

Näytteenottopvm.						
Näytteen nro						
Rullan nro						
Toimituserä / pvm.						
Näytteenottaja						
Lisätiedot						

TYÖMAALLA SUORITETUN LAADUNTARKKAILUN TULOKSET

Tarkastuspvm/paalulukema		
Toimituserä		
Suodattimen rakenne		
Ydinosan rakenne		
Suodattimen paksuus		
Suodattimen ja sauman ehjyys		

PÖYTÄKIRJAN LAATINUT PVM.	
PÖYTÄKIRJAN TARKASTANUT PVM.	

Ojanauhanäytteet toimitetaan laaduntarkastustusta varten osoitteella:

Pystyjojanauhojen laatuvaatimukset, laadunvalvonta ja testausmenetelmät

**PYSTYOJANAUHAN HANKEKOHTAINEN LAADUNVALVONTA
LAADUNTARKASTUSLAUSUNTO**

Työkohde
Urakoitsija
Rakennuttaja
Pystyjoitusmäärä (oja-km)

Pystyjojanauhan tyyppi
Suodattimen tyyppi
Näytteiden nrot / pituudet
Näytteenottaja / pvm.

TARKASTUKSEN TULOKSET

MITTATIEDOT	Ojanauha			Suodatin		
	keskiarvo	vaihtelu- väli	vertailuarvo ka. / min.	keskiarvo	vaihtelu- väli	vertailuarvo ka. / min.
Paksuus (mm)	(20 kPa)			(2 kPa)		
Massa (g / m)						
Leveys (mm)						
Mittojen ver- tailu tyyppitar- kastukseen						
RAKENNE	Ydinosa			Suodatin		
Rakenteen ver- tailu tyyppitar- kastukseen						
Ehjiys						

Tarkastuksen perusteella todetaan, että ojanauhanäytteiden laatu
on tyyppitarkastuksen tuloksiin verrattuna...

Havaitut laatupoikkeamat :

Suosittelut jatkotoimenpiteet :

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 36/1991 Kansalaisten osallistuminen tiensuunnitteluun; Muurla-Lohjanharju vaihtoehtoselvityksen arviointi. TIEL 3200034
- 37/1991 Rautatien tasoristeysonnettomuudet yleisillä teillä 1990. TIEL 3201870-91
- 38/1991 Palvelutasomittareiden vertailumittaukset 1991. TIEL 3200008-91
- 39/1991 Mittausautomaation hyödyntäminen maarakennuskoneiden ohjauksessa. TIEL 3200035
- 40/1991 Ramppiohjausselvitys. TIEL 3200036
- 41/1991 Ramps Metering Review. TIEL 3200037E
- 42/1991 Kuorma-autojen vaikutuksesta muuhun liikenteeseen. TIEL 3200038
- 43/1991 Maksuhalukkuusmenettelyn soveltuvuus tieliikenteen vaikutusten arviointiin. TIEL 3200039
- 44/1991 Nauvo-Parainen kiinteä tieyhteys: hyvinvointivaikutusten arviointi. TIEL 3200040
- 45/1991 Levähdysalueet ja levähdysalueiden kalusteet. TIEL 3200041
- 46/1991 Tiehöylän karheenlevittimien vertailu. TIEL 3200042
- 47/1991 Lautassirottimien vertailu. TIEL 3200043
- 48/1991 Liuoslevittimien käyttökokeilu. TIEL 3200044
- 49/1991 Projektinjohtokäytäntö ja -mahdollisuudet laajoissa tiensuunnitteluhankkeissa. TIEL 3200045
- 50/1991 Lumitilat yleisillä teillä, perusselvitys
- 51/1991 Raakapuun kuljetusmalli. TIEL 3200046
- 52/1991 Autokanta- ja liikenne-ennusteita eräissä maissa. TIEL 3200047
- 53/1991 Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät; otostiet ja rappeutumismallit. TIEL 3200048
- 54/1991 Tieverkon ylläpidon ohjausjärjestelmät; lähtötiedot ja perustulokset. TIEL 3200049
- 55/1991 Ympäristövaikutusten arviointiselostus, maantie 5053. TIEL 3200050
- 56/1991 Pääväylät kaupunkialueilla; Suunnittelu- ja mitoitusperusteet. TIEL 3200051
- 57/1991 Pääväylät kaupunkialueilla; Suuntaus. TIEL 3200052
- 58/1991 Pääväylät kaupunkialueilla; Kevytliikenne. TIEL 3200053
- 59/1991 Pääväylät kaupunkialueilla; Joukkoliikenne. TIEL 3200054
- 60/1991 Pääväylät kaupunkialueilla; Pääväylä ja ympäristö. TIEL 3200055
- 61/1991 Pensaiden menestyminen tiealueilla. TIEL 3200056

TIEL 3200057
ISBN 951-47-5532-4
ISSN 0788-3722